

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS

**“Estudo das emissões gasosas de compostos inorgânicos
odoríferos (H_2S e NH_3) provenientes de um sistema de
evaporação de lixiviado de aterro sanitário”**

Camila Rebelatto

Orientadora
Débora Machado de Oliveira

Florianópolis (SC)
Fevereiro/ 2008

**“Estudo das emissões gasosas de compostos inorgânicos
odoríferos (H_2S e NH_3) provenientes de um sistema de
evaporação de lixiviado de aterro sanitário”**

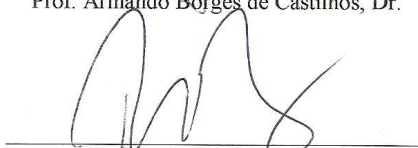
Camila Rebelatto

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Sanitarista e Ambiental, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Centro Tecnológico, da Universidade Federal de Santa Catarina.

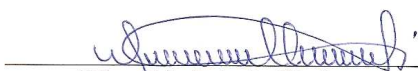
Banca Examinadora:



Prof. Armando Borges de Castilhos, Dr.



Prof. Paulo Belli Filho, Dr.



Débora Machado de Oliveira
(orientadora)

FLORIANÓPOLIS – SC

2007-2

À minha família
Pelo amor, apoio e incentivo.

*Agradeço
todo o auxílio prestado pela minha orientadora,
Débora Machado de Oliveira,
que pacientemente
guiou-me na realização deste trabalho.*

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO I	2
1. INTRODUÇÃO	2
CAPÍTULO II.....	4
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO III	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DE LIXIVIADOS	5
3.2. TRATAMENTO DE LIXIVIADOS – PROCESSOS CONVENCIONAIS.....	6
3.2.1. SISTEMAS DE TRATAMENTO BASEADOS EM MÉTODOS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS	7
3.2.2. SISTEMAS FUNDAMENTADOS EM PROCESSOS BIOLÓGICOS.....	8
3.2.3. NOVAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	10
3.3. TRATAMENTO POR EVAPORAÇÃO.....	11
3.4. ODORES	14
3.4.1. DEFINIÇÃO DE ODOR	14
3.4.2. PERCEPÇÃO DOS ODORES	14
3.4.3. PRINCIPAIS FONTES DE ODORES	16
3.4.4. INCÔMODOS E OS ODORES.....	17
3.4.5. CONCENTRAÇÃO ODORANTE.....	18
3.4.6. INTENSIDADE ODORANTE.....	19
3.4.7. COMPOSTOS ODORANTES ANALISADOS NESTE ESTUDO.....	20
3.4.7.1. H ₂ S.....	21
3.4.7.2. NH ₃	22
3.5. OLFATOMETRIA	23
3.5.1. DEFINIÇÕES RELATIVAS À OLFATOMETRIA	23
3.5.2. AMOSTRAGEM DOS COMPOSTOS ODORANTES	25
3.5.2.1. AMOSTRAGEM COM CONCENTRAÇÃO	26
3.5.2.2. AMOSTRAGEM SEM CONCENTRAÇÃO	26
3.6.1. LEGISLAÇÃO MUNDIAL	27
3.6.2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	28
CAPÍTULO IV.....	33
4. METODOLOGIA.....	33
4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS	33
4.2. EVAPORAÇÃO DO LIXIVIADO.....	36
4.3. DETERMINAÇÃO DE H ₂ S	39
4.4. DETERMINAÇÃO DE NH ₃	39
4.5. CÁLCULO PARA A DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE H ₂ S E NH ₃	39
4.6. ANÁLISE OLFATOMÉTRICA	41
CAPÍTULO V	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44

5.1. ANÁLISE QUÍMICA	44
5.2. ANÁLISE OLFATOMÉTRICA	50
5.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS	51
CAPÍTULO VI.....	54
6. CONCLUSÕES.....	54
CAPÍTULO VII.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
8. ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um evaporador.....	13
Figura 2 - Variação da Intensidade Odorante de uma substância pura em Função da concentração.	20
Figura 3 – Primeira coleta da amostra.....	33
Figura 4 – Segunda coleta do lixivado.	34
Figura 5 - Foto ilustrativa do piloto experimental.....	37
Figura 6 – Modelo de bomba utilizada.....	37
Figura 7 – Medidor de fluxo utilizado no processo.....	37
Figura 8 – Processo de coleta dos gases para análise olfatométrica.....	42
Figura 9 – Membro do júri olfatométrico.....	42
Figura 10 – Equipamento para medições direta de gases da DRAGER.....	43
Figura 11 – Análises dos gases pelo aparelho da DRAGER.....	43
Figura 12 – Gráfico da influência do pH sobre a NH_3 para todas as amostras do aterro de Biguaçu.	47
Figura 13 – Representação da influência do pH sobre a NH_3 para o aterro sanitário de Biguaçu através do software Statistic.....	47
Figura 14 - Gráfico da influência do pH sobre a NH_3 para todas as amostras do aterro de Laguna.	48
Figura 15 - Representação da influência do pH sobre a NH_3 para o aterro sanitário de Biguaçu, através do software Statistic.....	48
Figura 16 – Resultado da análise olfatométrica.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de percepção olfativa de alguns compostos.	16
Tabela 2 - Recomendações da norma francesa para a piridina ou 1 butanol.....	25
Tabela 3 - Limites de percepção de odor dos compostos em ppm.	29
Tabela 4 – Tabela de Limites de Tolerância segundo a NR 15.....	31
Tabela 5 – Limite de Tolerância: Brasil x EUA.....	32
Tabela 6 – Caracterização das amostras.	44
Tabela 7 – Resultados encontrados para NH_3 e condições de ensaio. ($T_{\text{evaporação}} = 100^\circ\text{C}$).....	45
Tabela 8 – Porcentagem de liberação de NH_3 em massa.....	49
Tabela 9 – Resultados das análises olfatométricas.....	51
Tabela 10 – Limites de tolerância e percepção para o H_2S e NH_3	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a - constante de Stevens.
AFNOR – Associação Francesa de Normas Técnicas.
APHA – *Standard Methods*
b - traduz o crescimento da intensidade odorante em função da constante (valor entre 0,2 a 0,8).
C – concentração.
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
CH₄ – gás metano
CO₂ – dióxido de carbono
CO – monóxido de carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DQO – Demanda Química de Oxigênio.
EROM – massa de referência européia de odor.
g – grama.
gL⁻¹ – grama por litro.
HCl – Ácido Clorídrico.
H₂S – ácido sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio.
HgCl₂ – Cloreto de Mercúrio.
I - intensidade.
IAP – Instituto Ambiental do Paraná.
K₅₀ – Fator de Diluição
LCQAr – Laboratório de Controle da Qualidade do Ar.
LPO – Limite de Percepção Olfativo.
LT – limite de tolerância.
m – massa.
mg – miligrama.
mg/L – miligrama por litro.
mg/m³ – miligrama por metro cúbico.
N – Nitrogênio.
NH₃ – amônia.
NH₄⁺ – amônio.
NO₃⁻ - nitrato.
OH – radical hidroxila.
POAs – Processos Oxidativos Avançados.
ppb – partes por bilhão.
ppm – partes por milhão.
Q1 - vazão do gás inodoro.
Q2 - vazão do gás odorífero.
S – Enxofre.
SD – Desvio Padrão da média.
SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente.
SO₄²⁻ - sulfato.
UO – Unidade de Odor.
UO.h⁻¹ – unidade de odor por hora.
UO/m³ – unidade de odor por metro cúbico.
V – volume

μm – micrômetro.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar os efluentes gasosos do sistema de evaporação de lixiviado, visando quantificar e avaliar as emissões odorantes sob diferentes valores de pH. Foram considerados nesta análise somente os compostos inorgânicos odoríferos de enxofre e nitrogênio, por constituírem os principais grupos responsáveis pelo mau odor nos tratamentos de efluentes líquidos, sendo maiores os incômodos quanto mais próximos das condições de anaerobiose estiverem. Para sua realização, utilizou-se uma instalação piloto que simulava o processo de evaporação do lixiviado de aterro sanitário. O aquecimento do lixiviado foi promovido por uma chapa elétrica sobre o qual ficava um balão volumétrico com 1500ml de lixiviado. Através de mangueiras de silicone, cinco frascos lavadores foram interligados em série. No segundo frasco foi colocado solução absorvente de HCl (0,1N) para a captura de amônia, e no quarto frasco foi colocado solução absorvente de HgCl_2 (4g/l) para a captura de sulfeto de hidrogênio. O processo de evaporação foi realizado durante duas horas sempre na temperatura de 100°C. O ensaio foi executado com diferentes amostras de lixiviado e sob a variação do pH. Os compostos odorantes do estudo em questão foram avaliados através de técnicas de análise química e olfatométrica. As análises químicas identificam e quantificam os compostos responsáveis pelos odores, enquanto a olfatometria qualifica e apresenta as intensidades odorantes com seus níveis de incômodos. Após a realização de diversos ensaios, verificou-se que o pH está intimamente relacionado à concentração de amônia emitida no processo de evaporação. Através das análises químicas, notou-se que as amostras apresentaram uma alta concentração de NH_3 (de 99,17 - 2231,25 mg/m^3) nos ensaios realizados em pH normal dos lixiviados (7,7 – 8,95). Já nos ensaios realizados com ajuste de pH para 4, as concentrações de amônia liberadas foram inferiores a 40 mg/m^3 . Em todas as amostras verificou-se ausência de H_2S . A olfatometria verificou que todas as amostras apresentam uma alta concentração odorante ocasionada principalmente pela presença de NH_3 .

PALAVRAS-CHAVE: lixiviado, evaporação, NH_3 , H_2S , compostos odorantes.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A variável ambiental está cada vez mais inserida no contexto das atividades realizadas pelo homem. A busca por melhores alternativas quanto à destinação dos seus poluentes faz parte dessa preocupação ambiental.

A poluição advinda da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros é crescente, e uma das contribuições mais importantes é devida aos líquidos lixiviados. Dessa forma, o tratamento desses percolados assume grande importância ambiental.

O aterro sanitário pode ser definido como um reator heterogêneo, em que resíduos sólidos e água constituem as principais entradas e o gás de aterro e o lixiviado ou chorume como as principais saídas. O gás de aterro e o lixiviado são produtos indesejáveis formados num aterro sanitário, e se não houver um tratamento para ambos, poderá ocorrer entre outros problemas, a contaminação do ar pelo gás de aterro e do lençol freático pelo líquido percolado que infiltra no solo (SILVA, 2002).

Atualmente, têm-se utilizado constantemente tratamentos biológicos e físico-químicos na tentativa de tratar o lixiviado de aterro. Esses tratamentos têm mostrado alguns pontos desfavoráveis em seus processos, como por exemplo, o volume excessivo de lodo gerado nos tratamentos biológicos, necessidade de unidade complementar para efetivar o tratamento, tanto biológico quanto em tratamentos físico-químicos e a possibilidade de aumento da toxicidade do efluente decorrente do uso de produtos químicos.

Surge então, como uma alternativa favorável ao tratamento do lixiviado de aterro o processo por evaporação. Esta técnica requer um rigoroso controle dos efluentes gasosos que serão liberados com o aumento da temperatura do lixiviado, pois são gases essencialmente odorantes, causadores de forte desconforto à sociedade, além de possíveis problemas respiratórios.

Os odores têm sido colocados como a maior preocupação a nível público para a implementação de recursos no tratamento de águas residuárias. Atualmente, a eliminação de odores tem alçado grande importância no projeto (design) e operação de estações de tratamento de águas residuárias, especialmente com respeito à aceitação

pública desses recursos. Em muitas áreas, projetos têm sido rejeitados por causa do receio do potencial odorante que pode ocasionar (METCALF e EDDY, 1991).

Em face disso, faz-se necessário o tratamento adequado ao líquido lixiviado gerado num aterro sanitário, bem como o controle da concentração dos efluentes gasosos liberados na atmosfera pelo processo de evaporação, garantindo assim um tratamento eficiente e com o mínimo de impacto ambiental.

Sendo assim, será apresentada neste trabalho, uma proposta de tratamento para lixiviados de aterros sanitários, baseada na evaporação forçada do mesmo, em substituição aos atuais modelos de tratamento de lixiviado. Neste estudo foi feita uma análise dos compostos odorantes liberados quando este lixiviado foi aquecido sob a temperatura de 100°C, resultando na emissão de compostos inorgânicos odorantes, os quais foram quantificados.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar os efluentes gasosos emitidos pela evaporação de lixiviados de aterros sanitários, visando quantificar os compostos odorantes de nitrogênio e enxofre.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do pH nas emissões de compostos odorantes, H_2S e NH_3 , por aquecimento do lixiviado;
- Avaliar se os compostos encontrados, NH_3 e H_2S , encontram-se de acordo com os limites estabelecidos pela Legislação de Poluentes Atmosféricos.
- Determinar, utilizando a técnica da olfatometria, a concentração odorante emitida por esses compostos durante o processo de evaporação de lixiviado.

CAPÍTULO III

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características e Composição de lixiviados

Lixiviado pode ser definido como a fase líquida da massa de resíduos aterrada, que percola através desta removendo materiais dissolvidos ou suspensos. Na maioria dos aterros sanitários, o lixiviado é composto basicamente pelo líquido que entra na massa aterrada de resíduos, advindo de fontes externas, tais como sistemas de drenagem superficial, chuva, lençol freático, nascentes e aqueles resultantes da decomposição dos resíduos. Quando a água percola através da massa de lixo aterrada, que está em decomposição, material biológico e componentes químicos são carregados para a solução (SILVA, 2002).

Deve-se ressaltar que a caracterização de líquidos lixiviados é muito difícil, já que a composição físico-química destes é extremamente variável, dependendo de vários fatores que vão desde as condições ambientais locais, tempo de disposição, forma de operação do aterro e as características dos resíduos.

Segundo REICHERT (2000), os líquidos percolados provêm das seguintes fontes: umidade natural dos resíduos, água de constituição dos vários materiais que sobram durante a decomposição, líquido proveniente da dissolução de materiais orgânicos por enzimas expelidas pelas bactérias, águas de precipitações, águas que se infiltram no local da disposição e outras infiltrações.

Para CASTILHOS JÚNIOR (1991), os principais fatores que afetam a geração dos percolados são: a precipitação, a infiltração, o escoamento superficial, a evapotranspiração e a capacidade de retenção de água dos resíduos.

BAGCHI (1998) citado por MONTEIRO *et al.* (2000), comenta que na estação chuvosa tem-se efeito de diluição mais acentuado, interferindo diretamente na qualidade dos líquidos percolados e corresponde a um dos principais responsáveis pela redução das concentrações dos seus componentes físico-químicos.

As condições climáticas, especialmente a precipitação, interferem fortemente no processo de degradação anaeróbia, sendo refletida especialmente na contagem de microrganismos aeróbios e anaeróbios. Quando a precipitação é intensa tem-se uma

quantidade maior de microrganismos aeróbios em relação à estação seca devido à presença de oxigênio dissolvido na água. As variações no balanço hídrico interferem na velocidade de degradação dos resíduos devido à predominância de determinadas populações de microrganismos presente na massa do resíduo. Por fim, BACGHI (1998) citado por MONTEIRO *et al.*, (2000) conclui que as condições climáticas mostram-se como fator determinante no comportamento do aterro, influenciando diretamente diversos parâmetros físico-químicos durante o processo de degradação dos resíduos.

RUSO e VIEIRA (2000) destacam que a água das precipitações que percola e infiltra na massa de resíduos aterrada é indispensável para criar condições metabólicas devido a transformações microbianas em seu leito, dando origem assim a uma mistura de líquidos com grande variabilidade, tendo complexidade orgânica solúvel, inorgânica, biológica e com fração de sólidos suspensos que é transportado até o fundo. Dessa forma, o lixiviado de aterro sanitário, será tanto mais poluente quanto mais água percolar sobre a massa de resíduos.

Apesar da caracterização dos líquidos percolados ser de certa forma complexa em função de sua grande variabilidade, CASTILHOS JÚNIOR (1991) afirma que a variação da composição dos percolados é relativamente bem estudada, as análises físico-químicas destes efluentes dizem respeito a vários parâmetros. Todavia, uma composição “*Standard*” (padrão) do percolado de aterro sanitário é difícil de ser estabelecida e os resultados numéricos que a literatura pode nos fornecer são válidos apenas para aterros sanitários específicos.

3.2. Tratamento de lixiviados – Processos Convencionais

Muitos processos de tratamento aplicáveis a águas residuárias vêm sendo utilizados para o tratamento de lixiviado, dentre os quais: sistemas de degradação aeróbios e anaeróbios, oxidação química, precipitação química, coagulação-floculação, adsorção em carvão ativado e processos fundamentados no uso de membranas (AMOKRANE *et al.*, 1997; WANG *et al.*, 2002, OZTURK *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005). Processos biológicos, na forma de rotinas aeróbias, anaeróbias e facultativas, ainda são os processos mais largamente aplicados para o tratamento deste tipo de efluente (MARTIENSSEN *et al.*, 1997; IM *et al.*, 2001; TATSI *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005).

No entanto, devido à complexidade da matriz, muitas vezes são empregados processos envolvendo a combinação de duas ou mais técnicas (TATSI *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005).

As dificuldades do tratamento de lixiviados estão relacionadas com a sua alta concentração de matéria orgânica (que pode ser expressa em DQO), alta concentração de nitrogênio, principalmente na forma amoniacal (OZTURK *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005), além de componentes tóxicos como os íons metálicos (KARGI *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005). Portanto, o tratamento do líquido percolado é essencial para minimizar o impacto no meio ambiente que um aterro sanitário pode produzir.

Segundo SILVA (2002), o lixiviado de aterros sanitários é tradicionalmente de difícil tratabilidade devido à dinâmica de geração com o tempo. Analiticamente caracterizam-se por elevados teores de DQO e DBO₅, especialmente quando novo, decrescendo acentuadamente com a idade do aterro sanitário. Devido ao fato de ser um efluente de composição muito variável, existem poucas referências bibliográficas a respeito de métodos generalizados para seu tratamento e os estudos caminham no sentido de soluções caso a caso.

A seguir estão descritas algumas das técnicas relatadas pela literatura, que tem sido aplicada para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

3.2.1. Sistemas de Tratamento Baseados em Métodos Físicos e Físico-químicos

Vários métodos físicos e físico-químicos, incluindo adsorção, precipitação, oxidação, *air stripping*, evaporação e filtração por membranas, têm sido aplicados para remover carga orgânica e nitrogênio de lixiviados de aterros sanitários. Segundo MANAHAN (2000), citado por MORAIS (2005) os tratamentos físico-químicos são aqueles que envolvem, principalmente, a remoção de sólidos e espumas proporcionando uma clarificação dos resíduos.

A coagulação/floculação/sedimentação, utilizada para clarificação de efluentes contendo partículas coloidais e sólidos em suspensão, apresenta a desvantagem do possível aumento da toxicidade do efluente pelo uso excessivo de produtos químicos.

Os processos de separação por membranas, para tratamento de lixiviado, têm sido muito estudados nas últimas décadas. De acordo com TREBOUT e colaboradores

(2001), citado por MORAIS (2005), a tecnologia de membranas, especialmente Osmose Reversa, tem sido amplamente usada nos países europeus. O emprego de nanofiltração tem ganhado popularidade nos últimos anos, principalmente pela sua capacidade de remoção de DQO, o que muitas vezes permite que o efluente atinja os limites de descarga impostos pela legislação desses países. Como dificuldades de tratamento podem ser citados: o alto custo desta tecnologia, o risco de entupimento dos poros do meio filtrante e a disposição do concentrado gerado. Os processos físicos e físico-químicos são empregados, em geral, como um pré-tratamento que objetiva facilitar um tratamento subsequente, em geral de natureza biológica.

A principal desvantagem deste tipo de tratamento está representada pelo seu caráter não destrutivo. Isto é, as substâncias potencialmente poluentes não são degradadas, mas apenas transferidas para outras fases (FREIRE *et al.*, 2000). Mesmo quando o processo empregado proporciona uma redução de volume, a disposição destas novas fases continua sendo um problema que envolve custos e geração de impacto ambiental.

Adicionalmente, FREIRE *et al.*, (2000) afirma que pré-tratamentos deste tipo pouco contribuem com o aumento da biodegradabilidade da matriz de lixiviado ou com a eliminação de substratos potencialmente tóxicos para o sistema biológico de tratamento. Contrariamente, alguns deles (coagulação/floculação, por exemplo) aumentam a carga de compostos químicos, o que certamente não torna o efluente mais “aceitável” para degradação fundamentada em oxidação biológica.

3.2.2. Sistemas Fundamentados em Processos Biológicos

Os objetivos do tratamento biológico de águas residuárias é a remoção de sólidos coloidais não sedimentáveis e a estabilização da matéria orgânica e, em muitos casos, a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo). Esses objetivos são alcançados pela atividade de diversos microorganismos, principalmente bactérias heterotróficas.

Em termos de sua função metabólica, os processos biológicos podem ser classificados como anaeróbios, aeróbios, anóxicos e facultativos. Em cada processo, há diferenças quanto ao crescimento biológico (suspenso ou aderido), quanto ao fluxo (contínuo ou intermitente) e quanto às características hidráulicas (mistura completa, fluxo de pistão ou fluxo arbitrário) (MENDONÇA, 2002). Na oxidação aeróbia, as bactérias utilizam o oxigênio molecular como aceptor final de elétrons, enquanto que,

na oxidação anaeróbia, este papel é exercido por componentes como gás carbônico (CO_2), nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}).

Segundo CHAN e colaboradores (2002), citado por MORAIS (2005), o processo de recirculação é relativamente controlado e para maximizar a estabilização do aterro, o volume e a frequência de recirculação de lixiviado deve ser rigorosamente controlada. O excesso de volume nas células do aterro pode resultar na imposição de condições ácidas, as quais vão reduzir a atividade metanogênica, alterando a cinética dos processos de decomposição mediados por microorganismos. Há ainda o aumento de risco de rompimento dos taludes de proteção do aterro e das geomembranas.

A mais moderna tendência para o tratamento de efluentes está representada pela utilização de processos anaeróbios-aeróbios alternados. Este sistema aumenta significativamente a eficiência do tratamento, o que permite a redução do tamanho das estações e dos tempos de residência (FREIRE *et al.*, 2000).

Nestas combinações, o pré-tratamento anaeróbio-aeróbio é empregado para redução da carga orgânica na entrada do reator aeróbio, reduzindo, no sistema, o consumo de energia e a produção de lodo, além de promover a remoção de nutrientes (MENDONÇA, 2002).

Estudos feitos por TATSI *et al.*, (2003) citado por MORAIS (2005), demonstraram que quando em fase jovem, o lixiviado apresenta uma composição caracterizada por substâncias de baixa massa molar, incluindo um grande número de ácidos graxos voláteis. Nestas condições, a matriz pode ser adequadamente tratada por processos biológicos convencionais, especialmente sistemas aeróbios/anaeróbios.

Entretanto, é importante salientar que a variabilidade sazonal da quantidade e composição do lixiviado não compatibiliza com a extrema sensibilidade dos sistemas biológicos às cargas de choque. Desta forma, estudos sistemáticos que permitam prever e absorver variações desta natureza são essenciais.

Por sua vez, lixiviados de aterros mais antigos apresentam uma reduzida fração biodegradável, além de altas concentrações de nitrogênio amoniacal. Trata-se de características que normalmente inviabilizam a aplicação de tratamentos de fundamentação biológica (AMOKRANE *et al.*, 1997; LI *et al.*, 1999; TATSI *et al.*, 2003, citados por MORAIS, 2005).

ZOUBOULIS *et al.*, (2004), citado por MORAIS (2005), caracterizaram amostras de lixiviado submetidas a tratamento biológico. Neste estudo, constatou-se

que grande parte da DQO residual (cerca 1000 mg.L⁻¹) era formada por substâncias orgânicas não biodegradáveis.

Em outro estudo realizado por NANY e RATASUK (2002), citado por MORAIS (2005), durante a caracterização de lixiviado tratado por sistema biológico, foi constatado que o carbono orgânico dissolvido era constituído em grande parte por substâncias húmicas, principalmente na forma de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos.

Outra dificuldade dos processos biológicos está relacionada com a formação de lodos. Devido à elevada capacidade de adsorção, a biomassa acaba agindo como sistema físico-químico de tratamento, concentrando substratos não degradados (CHRISTENSEN *et al.*, 2001; TATSI *et al.*, 2003, citado por MORAIS, 2005). Trata-se de um inconveniente, que envolve a necessidade de operações complementares para disposição final, principalmente quando existe a intenção de reutilização.

3.2.3. Novas alternativas para tratamento de efluentes

Dentre os novos processos desenvolvidos com o objetivo de tratar efluentes complexos destacam-se os Processos Oxidativos Avançados (POAs), empregados com excelentes resultados na remediação de espécies químicas recalcitrantes (FREIRE *et al.*, 2000).

Os POAs foram definidos por GLAZE (1994), citado por MORAIS (2005), como processos que envolvem a geração de espécies transitórias de elevado poder oxidante, dentre as que destaca o radical hidroxila (QOH). Este radical apresenta alto poder oxidante e baixa seletividade, possibilitando a transformação de um grande número de contaminantes tóxicos, em tempos relativamente curtos.

A elevada eficiência destes processos pode ser atribuída a fatores termodinâmicos, representados pelo elevado potencial de redução do radical hidroxila e cinéticos, favorecidos pela elevada velocidade das reações radicalares.

Dentre as principais vantagens associadas ao uso de tecnologias fundamentadas em POAs contam-se (FREIRE *et al.*, 2000):

- Os POAs introduzem importantes modificações químicas no substrato, em grande número de casos induzindo a sua completa mineralização;
- A inespecificidade dos processos oxidativos avançados viabiliza a degradação de substratos de qualquer natureza química. Dentro deste contexto, destaque pode ser

dado à degradação de contaminantes refratários e tóxicos, cujo tratamento biológico pode ser viabilizado por oxidação avançada parcial;

- Podem ser aplicados para reduzir a concentração de compostos formados em etapas de pré-tratamento. Por exemplo, aromáticos halogenados formados durante desinfecção convencional;

- Os processos avançados são aplicáveis no tratamento de contaminantes em concentração muito baixa (por exemplo, ppb);

- Com exceção de alguns processos que podem envolver precipitação (óxidos férricos, por exemplo), os processos avançados não geram resíduos. Trata-se de um fator relevante, uma vez que evita a execução de processos complementares de tratamento e disposição;

Como qualquer outra forma de tratamento, os POAs não podem ser aplicados indiscriminadamente no tratamento de qualquer tipo de resíduo. Existem condições que limitam a sua aplicabilidade, dentre a que é possível destacar (FREIRE *et al.*, 2000):

- (1) Nem todos os processos estão disponíveis em escalas apropriadas;
- (2) Os custos podem ser elevados, principalmente devido ao consumo de energia;
- (3) Há formação de subprodutos de reação, que em alguns casos podem ser tóxicos;
- (4) Apresentam restrições de aplicação em condições de elevada concentração dos poluentes.

Os POAs são indicados para conteúdos de DQO de até 5 g.L⁻¹, uma vez que conteúdos mais elevados requerem quantidades muito grandes de reagentes. Nesses casos, é conveniente o emprego de outro processo de tratamento, ou ainda, de um pré-tratamento.

3.3. Tratamento por evaporação

Processos convencionais para tratamento de lixiviado até agora vistos requerem várias unidades de operação para remover os contaminantes a níveis aceitáveis. Uma linha de tratamento de lixiviado de aterro sanitário inclui normalmente: 1) processo aeróbio ou anaeróbico para estabilizar os componentes biodegradáveis e a amônia; 2) adsorção, *air stripping* ou oxidação química para remover compostos orgânicos refratários; e 3) precipitação química para remover metais pesados. O tratamento por

evaporação propõe atingir níveis de tratamento aceitáveis com menos unidades de tratamento ou em uma única unidade. (MARKS *et al.*, 1994).

O manejo de lixiviado de aterros sanitários municipais é o principal aspecto do projeto (*design*) e operação de um aterro. Tradicionalmente, os processos biológicos têm sido usados para tratar o lixiviado, mas atualmente processos de tratamento adicionais estão sendo requeridos para satisfazer os crescentes padrões de tratamento. A evaporação pode oferecer um potencial para tratar efetivamente o lixiviado em uma unidade principal de operação. Depois da evaporação, o volume da concentração de resíduos será uma pequena fração do volume original do lixiviado e grande parte da amônia destilada e ácidos orgânicos podem ser minimizados pelo ajuste apropriado do pH. A maioria das experiências utilizando tratamento por evaporação em lixiviado de aterro sanitário vem da Europa com predomínio de dois grupos principais: um da Alemanha e outro da Suíça.

Há também a possibilidade de tratamento de lixiviado do aterro utilizando o gás gerado no próprio aterro como recurso de energia para o processo. Desta forma, os dois principais produtos da operação de aterro sanitário, lixiviado e gás, podem ser usados associadamente, beneficiando o processo de tratamento. MARKS *et al.*, (1994) realizou um estudo baseado na evaporação do lixiviado de aterro sanitário utilizando o biogás gerado. O processo denominado BGVAP, foi desenvolvido em 2000, na França. Trata-se de um tratamento térmico onde o lixiviado é imerso num tanque de evaporação, onde é então aquecido a temperaturas próximas de 100°C. Foi observado bom desempenho do processo. A qualidade do biogás requerido durante o processo foi de 25% de conteúdo de CH₄. Os valores medidos dos gases emitidos respeitaram as regulamentações internacionais, contudo, as condições de combustão devem ser cuidadosamente acompanhadas, especialmente com relação à concentração de monóxido de carbono (CO).

Segundo MARKS *et al.*, 1994, no processo de evaporação, se o lixiviado apresenta baixa quantidade de ácidos orgânicos voláteis, para um efetivo tratamento é necessário somente uma evaporação ácida. Lixiviado com alta concentração de amônia e ácidos orgânicos voláteis requerem um segundo passo: ajuste de pH para o processo de evaporação. Se compostos orgânicos voláteis não iônicos estiverem presentes no efluente, então, faz-se necessário um pré-tratamento, como por exemplo, *air stripping* para obter-se uma qualidade aceitável de tratamento.

Dentre as vantagens do tratamento de lixiviado por evaporação, podemos citar a separação de componentes voláteis de não-voláteis, amônia e ácidos orgânicos voláteis podem ser transformados em íons não-voláteis apenas com o ajuste do pH da solução.

Segundo MARKS *et al.*, (1994) o produto da evaporação no tratamento de lixiviado é de alta qualidade e de mais fácil disposição quando comparado a tratamentos convencionais de lixiviado.

Existem atualmente vários modelos de evaporadores de lixiviado comercialmente disponíveis, MONTEIRO *et al.*, (2000), apresenta um modelo onde o percolado é enviado para um tanque metálico, o evaporador, onde é aquecido a uma temperatura entre 80 e 90°C, o que faz com que parte da fração líquida se evapore, concentrando o teor de sólidos do lixiviado. O lodo adensado, com cerca de 30% de material sólido, sai pela parte inferior do evaporador e é vazado no aterro. O vapor quente, quando sai do evaporador, passa por um filtro retentor de umidade e vai para uma câmara de aquecimento final, de onde é lançado, seco, na atmosfera. A Figura 1 apresenta um esquema típico deste modelo de evaporador.

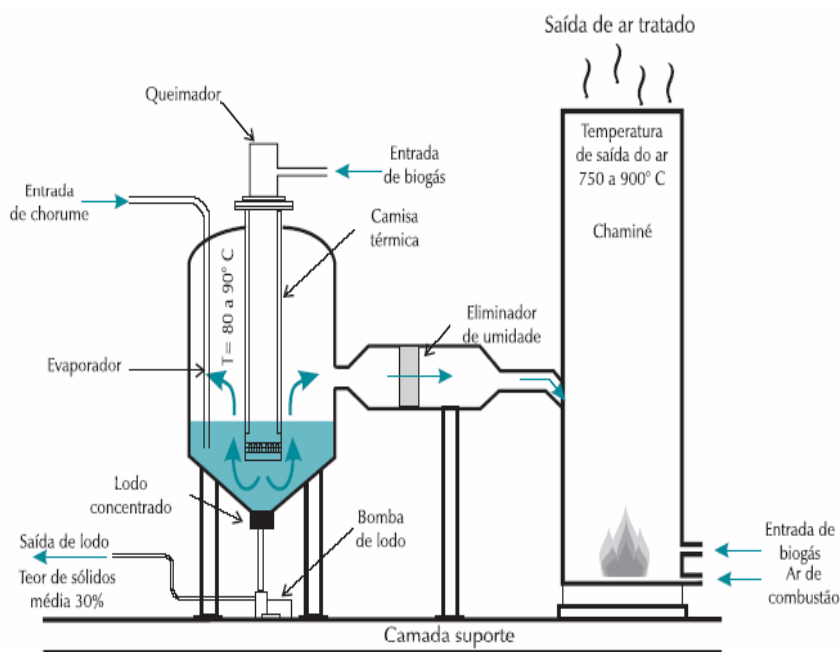


Figura 1 - Esquema de um evaporador.

Fonte: MONTEIRO *et al.* (2000).

Em suma, as exigências de um modelo de evaporação de lixiviado são: um modelo de equilíbrio químico que prediga o comportamento dos eletrólitos,

componentes voláteis e sólidos; um simulador de fase única ou múltiplas fases com recirculação; a habilidade de operar processos em grupo; a capacidade de operar concentrações altas e baixas e; controle de variações e ajustes de pH. (MARKS *et al.*, 1994).

3.4. Odores

A seguir encontra-se uma breve revisão bibliográfica acerca desse grande fator de geração de incômodo às populações urbana e rural, que são os odores.

3.4.1. Definição de Odor

O odor pode ser definido, de uma maneira simples, como uma mistura complexa de moléculas químicas voláteis. Os odores são causados usualmente por gases produzidos a partir da decomposição da matéria orgânica. Para que as moléculas sejam odorantes, é necessário que reajam com a mucosa nasal criando uma sensação olfativa. Esta última depende da natureza da substância odorante e de sua concentração no ar. (LE CLOIREC, 1999, citado por CARMO, 2005).

Conforme TEETAERT (1999) citado por SCHIRMER (2004), o odor é uma mistura complexa de compostos químicos a concentrações muito fracas, que dão origem a uma sensação odorante percebida pelo nariz humano. Um odor é definido como uma sensação resultante da estimulação do órgão olfativo, causando impulsos que são transmitidos ao cérebro.

Em outras palavras, odor é uma variável psicofísica complexa, não uma simples variável física ou química.

3.4.2. Percepção dos odores

A percepção dos odores é consumada através do sistema olfativo que inclui no nariz o órgão do sentido, o epitélio olfativo. Segundo MORTON (2002), citado por CARMO (2005), o epitélio olfativo possui aproximadamente um milhão de células receptoras. As células receptoras se conectam ao bulbo olfativo, situado atrás dos olhos, acima da cavidade nasal, na parte dianteira mais baixa do cérebro. Estas células reagem com as propriedades físico/químicas e com as características moleculares das substâncias odorantes para produzir o estímulo que é reconhecido como odor.

O melhor detector de aromas é o ser humano, enquanto os equipamentos de análises mais sensível (comercialmente disponível) detectam, na melhor das hipóteses, concentrações na ordem de fentogramas/g ($1 \text{ fg} = 10^{-15} \text{ g}$) o nariz humano é capaz de detectar com precisão até atogramas ($1 \text{ ag} = 10^{-18} \text{ g}$).

Dos cinco sentidos, o olfato é o mais complexo e único em estrutura e organização. O sistema olfativo emprega um papel maior como mecanismo de defesa, criando uma resposta de aversão aos odores irritantes (MCGINLEY e MCGLINLEY, 2002, citado por CARMO, 2005).

O conhecimento do aparelho olfativo permite distinguir as características gerais de uma molécula odorante. Em efeito, para estimular a zona olfativa, três propriedades essenciais são requeridas. A primeira é a volatilidade de uma molécula: sua tensão de vapor deve ser suficiente para que ela atinja a mucosa olfativa. Isso explica porque os metais, à temperatura ambiente, são inodoros. A substância deve ser igualmente solúvel na água para alcançar as terminações nervosas que são envolvidas de uma fina película aquosa. Por último, sua solubilidade nos lipídios lhe permite penetrar até as terminações nervosas, através da camada lipídica da membrana celular (FERNANDEZ, 1997, citado por CARMO, 2005).

A anatomia do sistema olfativo é relativamente bem conhecida, mas, segundo CARMO, 2005, não se pode dizer o mesmo do mecanismo fisiológico que gera a percepção de um odor. Um fenômeno bioquímico ocorre entre moléculas específicas e receptores específicos do sistema olfativo.

Para CARMO, 2005, a resposta humana para um odor é altamente subjetiva; diferentes pessoas encontram diferentes odores ofensivos em diferentes concentrações. Isto resulta na maneira diferente que os indivíduos percebem os odores. O processo é visualizado em dois estágios, a recepção fisiológica e a interpretação psicológica, que resultam em uma impressão mental de um odor específico. O limite olfativo humano para diferentes compostos varia muito devido à natureza química dos compostos, e entre indivíduos, dependendo da idade, gênero e estado de saúde.

A percepção humana dos odores é função do tipo de odor e da quantidade. Baixas concentrações de uma substância odorante pode produzir uma sensação indicando a presença de um vapor de odor. Este é o limite da detecção do odor, neste nível o cérebro pode não ser capaz de reconhecer o odor específico. Ainda, os valores de limites de percepção são geralmente inferiores aos valores limites de toxicidade,

alertando o indivíduo da presença de um composto, sem, obrigatoriamente induzir a um risco tóxico (CARMO, 2005).

A tabela abaixo apresenta os limites olfativos e as famílias de moléculas dos principais compostos odorantes.

Tabela 1 - Limites de percepção olfativa de alguns compostos.

Famílias	Limite Olfativo (mg/m ³)
Compostos de N	
Amônia	20
Aminas	0,03 a 0,1
Compostos de S	
H ₂ S e mercaptanas	0,002 a 0,1
Aldeídos e cetonas	0,2 a 0,4

Fonte: BONIN *et al.*, 1993, citado por TRUPPEL (2002).

3.4.3. Principais fontes de odores

Segundo KOWAL (1993) citado por CARVALHO (2001), as emissões dos efluentes odorantes, originados naturalmente e, principalmente das atividades antropogênicas, são resultantes das reações e das transferências químicas e/ou biológicas.

Esses odores podem ser classificados em quatro categorias:

- As decomposições térmicas dos compostos orgânicos, isto é, as indústrias que utilizam a energia como as fábricas de papel, as indústrias de fundição e a incineração;
- A decomposição anaeróbia de materiais orgânicos como: as fábricas de alimentos, de leveduras, de champignons, das estações de tratamento;
- A decomposição anaeróbia dos produtos animais, atividades encontradas nos dejetos dos suínos, fábricas de farinha de peixe, fábricas de desengraxar ou escamar ossos;

- A evaporação de água ou de solventes por secagem (fábricas de papéis pintados, suportes fotográficos, fábricas de tintas) ou por simples aeração (rede coletora de água bruta).

Os compostos odorantes produzidos por essas reações diversas, podem ser reagrupados em três grandes famílias:

- Os compostos nitrogenados: amônia, aminas;
- As moléculas oxigenadas: ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas e álcoois;
- Os compostos sulfurados: ácido sulfídrico, sulfetos, mercaptanas.

A seguir veremos detalhadamente os aspectos mais importantes sobre os compostos que serão estudados neste trabalho: sulfetos e amônia.

3.4.4. Incômodos e os odores

Um forte fator de incômodo às populações das regiões rural e urbana são os maus odores provenientes de fontes de emissões características destas localidades. Os processos biológicos anaeróbios de tratamento de efluentes constituem uma fonte de emissão de gases mal odorantes, pois no processo ocorre a formação de gases como o H_2S , NH_3 e outros compostos orgânicos voláteis. Apesar de alguns compostos serem potencialmente tóxicos, seus efeitos intervêm somente a concentrações dezenas de vezes superiores aos limites de detecção olfativa.

Os compostos com enxofre podem ser tóxicos e irritantes para os olhos e vias respiratórias, mesmo a baixas concentrações.

Os efeitos dos odores na saúde ainda são muito difíceis de serem quantificados, mas já foram relatados e documentados sintomas de náuseas, vômitos e dores de cabeça; falta de fôlego e tosse; distúrbios no sono e no apetite; irritação nos olhos, nariz e garganta; inquietação, tristeza e depressão; redução da sensação de bem-estar e do prazer de realização de atividades cotidianas como comer, passear etc. Há evidências, mostradas em estudos sob condições controladas, que determinados odores podem induzir a alterações fisiológicas e morfológicas, sobretudo do sistema respiratório cardiovascular (ÁLVARES JR *et al.*, 2002, citado por CARMO, 2005).

A importância dos odores em baixas concentrações, para o ser humano, está relacionada, especialmente, com a tensão psicológica que eles produzem, em vez de danos que eles possam acarretar para o organismo. Em situações extremas, odores

ofensivos podem levar à deterioração pessoal e da auto-estima da comunidade, inferindo no relacionamento humano, desencorajando investimento de capital, baixo status sócio-econômico, e inibindo o crescimento. Estes problemas podem resultar em depreciação de valores das propriedades, queda na arrecadação de impostos e vendas (METCALF e EDDY, 1991).

Os efeitos crônicos dos odores resultam da exposição a repetidos impactos causados por odores objetáveis ou ofensivos, por um longo período de tempo. Em muitas ocasiões ele é de natureza repetitiva, e seu efeito acumulado é o problema, considerando que eventos individuais não são necessariamente significativos. A exposição crônica resulta, freqüentemente, de emissões de processos que podem ser contínuos ou periódicos quanto à natureza. Os padrões de vento no local geralmente influenciam os impactos odorantes em localizações diferentes (CUDMORE e DONS, 2000, citado por CARMO, 2005).

Assim como os incômodos causados por barulho ou pó, existem também aquelas ocasiões em que um único odor é tão forte ou agudo que se torna inaceitável, podendo causar um efeito adverso. Isto independe do fato desse evento acontecer com baixa freqüência, como, por exemplo, duas vezes por ano. O termo “efeito agudo de odor” relaciona-se ao efeito adverso devido ao curto prazo de exposição a um odor censurável ou ofensivo. Apesar de todos esses sintomas ocasionados à saúde e impactos dos odores, há ainda uma grande dificuldade no estabelecimento de uma relação entre a intensidade e o tempo de exposição com a magnitude dos efeitos citados (ÁLVARES JR *et al.*, 2002, citado por CARMO, 2005).

A definição de saúde inclui estado de bem-estar físico, mental e social, sendo o bem-estar independente dos hábitos de vida, da biologia humana, do meio sócio cultural e do bem-estar sobre o meio físico (meio ambiente) dentro do qual a pessoa vive. Por essa razão, do ponto de vista da saúde pública, os incômodos olfativos não podem estar dissociados do conceito de saúde (SILVA, 2002).

3.4.5. Concentração odorante

A concentração odorante de uma amostra gasosa (composto simples ou mistura composta) é determinada pela diluição do odor com ar neutro até que o limite de percepção do odor seja alcançado.

O valor numérico da concentração odorante da amostra investigada é também referido como o número de diluição ao limite de percepção do odor ou número de odor; o valor absoluto é dado pelo fluxo volumétrico da amostra do gás odorante e o ar neutro no instante em que o limite do odor é obtido.

A unidade quantitativa é a Unidade de Odor (UO) dividida pela unidade de volume (m^3), ou seja: UO/m^3 . A concentração de uma amostra inalada ao limite de percepção do odor é, por definição, igual a $1UO/m^3$. A concentração do odor corresponde ao número de diluições necessárias para alcançar o limite de percepção odorante, é expressa em unidade de odor por metro cúbico (UO/m^3) (LE CLOIREC, 1999, citado por CARMO, 2005).

O valor de referência utilizado para padronização é $1UO = 1 \text{ EROM}$ (massa de referência europeia de odor) = $123 \mu\text{g n-butanol}$.

3.4.6. Intensidade odorante

A intensidade odorante de uma atmosfera é uma sensação relativa percebida por um estímulo superior ao limite de percepção.

Para um mesmo composto odorante, a intensidade depende da concentração da substância odorante do ar respirado. Para substâncias diferentes, ela depende da sensibilidade olfativa a cada uma das substâncias inaladas (LE CLOIREC *et al.*, 1991, citado por CABRAL, 2003).

A intensidade é uma função crescente da concentração dos odores no ar respirado. A relação entre a concentração de odor e a intensidade percebida ou fisiológica é representada pela equação da Lei de Stevens:

$$\text{Log } I = b \text{ Log } C + \text{Log } a$$

Em que:

a = constante de Stevens;

b = traduz o crescimento da intensidade odorante em função da constante (valor entre 0,2 a 0,8);

I = intensidade;

C = concentração odorante.

A variação da intensidade de uma substância, em função de sua concentração, é representada pela curva de Stevens mostrada na figura 2.

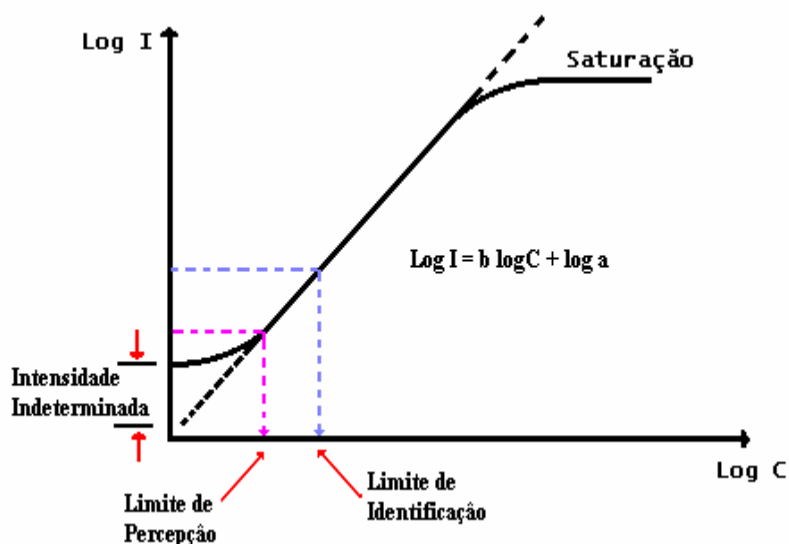


Figura 2 - Variação da Intensidade Odorante de uma substância pura em Função da concentração.

Fonte: Belli, Fº. (1995), citado por CARMO, 2005.

A Lei de Stevens é aplicada sobre os comportamentos das funções orgânicas que são utilizadas igualmente nas outras organizações sensoriais. No primeiro trecho da curva, até o limite de percepção, o odor é inodoro (não perceptível), passando o limite de identificação, a relação se torna linear. Conforme ocorre o aumento da concentração, também aumenta a intensidade odorante até que estas respostas vão sendo menos percebidas, mesmo com o aumento da concentração (saturação).

3.4.7. Compostos odorantes analisados neste estudo

Para PROKOP (1996) citado por TRUPPEL (2002), compostos odorantes são substâncias que são emitidas de fontes industriais incluindo tanto as partículas de gases orgânicos quanto inorgânicos. O H_2S e amônia são exemplos de gases inorgânicos.

A maior parte das substâncias odorantes deriva da decomposição aeróbia da matéria orgânica que contém enxofre e nitrogênio, e grande parte são gasosas em condições atmosféricas abaixo da normal, ou no mínimo tem uma volatilização significativa (TRUPPEL, 2002).

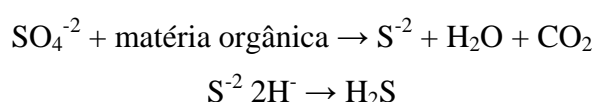
A liberação de compostos fétidos para a atmosfera a partir de um líquido depende basicamente de três fatores: da concentração destes compostos no líquido, da área superficial do líquido exposto à atmosfera e do grau de turbulência do fluxo deste líquido. A liberação depende também do pH do meio: em condições ácidas sulfetos e ácidos orgânicos são facilmente liberados, em pH alcalino amônia e aminas são favorecidas (LUDVICE *et al.*, 1997, citado por TRUPPEL, 2002).

3.4.7.1. H₂S

Os compostos de enxofre constituem a maioria das moléculas olfativas encontradas nas estações de tratamento e, sobretudo o gás sulfídrico.

O H₂S, maior causador da geração de maus odores é facilmente liberado para a atmosfera, sendo detectado pela maioria dos indivíduos em concentrações extremamente baixas (2- 4 ppb). Sua volatilização é a principal responsável por sua geração, que ocorre com maior intensidade em valores de pH inferiores a 7,0 (BOWKER *et al.*, 1989, citado por BELLI *et al.*, 2002) sua emissão se constitui num incômodo às populações vizinhas às estações de tratamento de esgotos.

O gás possui odor característico de ovo podre, é corrosivo, tóxico, solúvel em águas residuárias e pode ser letal a concentrações fortes (1000 ppm). O H₂S resulta da redução de sulfato a gás sulfídrico pelas bactérias anaeróbias em condições reduzidas (WEF, 1999, citado por TRUPPEL, 2002):



O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência no processo da digestão anaeróbia. Na digestão anaeróbia a faixa de pH ótimo se situa entre 6,8 e 7,2. Em pH próximo de 9, mais do que 99% do sulfato dissolvido na água acontece na forma de HS⁻ (WEF, 1999, citado por TRUPPEL, 2002). Nota-se que, quanto mais elevado for o pH, acima de 7, menor será a existência de H₂S na forma de gás, reduzindo a exalação de odores, pois o meio básico retém o H₂S produzido. (CAMPOS & PAGLIUSIO, 1999, citado por TRUPPEL, 2002).

3.4.7.2. NH₃

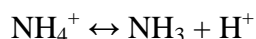
Os compostos com nitrogênio constituem-se em moléculas olfativas importantes na geração de maus odores.

A amônia é produzida por meio da ação das bactérias na uréia presente na urina, ou pela destilação a seco de substâncias contendo proteínas tais como ossos, chifres e couros. (HOCKING, 1998, citado por CARVALHO, 2001).

A outra parte provém da degradação biológica das proteínas e dos aminoácidos. A amônia poder ser produzida por hidrólise dos compostos orgânicos nitrogenados presentes nas redes coletoras de esgoto parado ao longo do tempo e quando as temperaturas estão elevadas (HAKNESS, 1980 citado por CARVALHO, 2001).

A amônia tem uma característica especial, é fácil de ser identificada no campo operacional. Em altas concentrações ela é tão intensa que mascara os odores provenientes de outros compostos, como exemplos, o grupo do enxofre. Na verdade, os compostos que contêm enxofre podem estar presentes, mas não são detectáveis pela alta concentração da amônia. Em pH maior que 8 a amônia é volatilizada. (HOCKING, 1998 citado por CARVALHO, 2001).

A amônia livre (NH₃), como se observa na reação abaixo é passível de volatilização, ao passo que a amônia ionizada não pode ser removida por volatilização. Com a elevação do pH, o equilíbrio da reação se desloca para a esquerda, favorecendo a maior presença de NH₃. No pH em torno da neutralidade, praticamente toda a amônia encontra-se na forma de NH₄⁺. No pH próximo a 9,5, aproximadamente 50% da amônia está na forma de NH₃ e 50% na forma de NH₄⁺. Em pH superior a 11, praticamente toda a amônia está na forma de NH₃.



A eficiência de remoção dos odores diminui em temperaturas elevadas, em parte, porque a adsorção e solubilidade dos compostos odorantes diminuem com o aumento da temperatura.

3.5. Olfatometria

A olfatometria se baseia na importância das mucosas olfativas como os únicos captadores disponíveis na avaliação dos odores. Nestes estudos, o detector para avaliação dos odores é o sistema olfativo do ser humano, encarregando-se de discriminar e identificar os compostos odorantes (BELLI e DE LISBOA, 1998). As análises olfatométricas possibilitam fazer a quantificação dos níveis de odores, identificando a natureza da emissão dos poluentes.

Segundo BELLI *et al.*, (1998), a olfatometria pode ser caracterizada por duas grandezas:

- A concentração odorante de uma atmosfera e o seu limite de detecção e de percepção;
- A intensidade odorante de uma atmosfera, relacionada com os níveis de odores de uma escala de referência.

As análises olfatométricas são baseadas em processos estatísticos de respostas verbais de um júri de pessoas treinadas. É importante realizar análises olfatométricas sobre uma amostra representativa da população, devido à presença na atmosfera de compostos odorantes (VIGNERON *et al.*, 1994, citado por CARVALHO, 2001).

Estas determinações se efetuam por tratamento estatístico das várias respostas de um júri formado por pessoas treinadas e qualificadas de uma população, para avaliar uma atmosfera odorante, seguindo as recomendações normalizadas da (AFNOR NF X 43-103).

3.5.1. Definições relativas à olfatometria

- Gás inodoro: é um gás que é constantemente inodoro por todos os membros componentes de um júri, este gás é praticamente ar ou nitrogênio filtrado em carvão ativado.
- Limite de percepção olfativo (K_{50}): é a concentração na qual 50% do conjunto de indivíduos expostos detectam o odor a que estão submetidos (BELLI *et al.*, 1998).

$$K_{50} = (Q1 + Q2)/Q2$$

Onde:

K_{50} = fator de diluição;

Q_1 = vazão do gás inodoro;

Q_2 = vazão do gás odorífero.

- Limite de caracterização olfativa: concentração de odor na qual 50% dos membros de um júri são capazes de reconhecer, nominalmente, a substância odorante (SIAAP, 1991 citado por BELLI e DE MELO LISBOA, 1998).

- Limite de identificação olfativa: é a concentração na qual 100% do conjunto de indivíduos expostos identificam, nominalmente, o odor representativo do material odorante ou odorífero a que foram expostos (BICHARA, 1999, citado por CARMO Jr., 2005).

De acordo com BELLI *et al.*, (1998), a definição da intensidade de odor de uma amostra esta fundamentada nas relações funcionais entre a mente e os fenômenos físicos, com o auxílio de um júri. Desta forma o nível de odor de uma amostra é a grandeza da sensação olfativa proveniente de estímulos motivados por concentrações de odores superiores ao limite de percepção olfativo. Este método utiliza um escala de referência (1-butanol), com concentrações diferentes de soluções. A análise consiste em comparar a amostra a ser examinada com a intensidade de referência de acordo com a diluição conhecida do composto padrão, conforme apresentado na tabela 2.

O olfatômetro é o aparelho que permite diluir a amostra de um gás odorante com um gás inodoro. Após a diluição das amostras estas são apresentadas a um painel de pessoas a fim de determinar a concentração odorante detectável por 50% dos membros do painel. A concentração de um odor deve ser determinada em um ambiente inodoro para que não interfira na percepção real do odor.

O painel de pessoas permite descobrir um odor em concentrações bem abaixo dos níveis de sensibilidade dos métodos analíticos químicos. A exposição ao estímulo deve ser tal que o limite superior seja suficiente para que o painelistas faça a escolha, porém a exposição não deve durar mais que 15 segundos, com intervalo entre a repetição da série superior a 1 minuto, com a finalidade de evitar a habituação durante a exposição ao estímulo.

Tabela 2 - Recomendações da norma francesa para a piridina ou 1 butanol.

Concentração (g)	Nível	Intensidade dos odores
0,001	1	Muito fraco
0,01	2	Fraco
0,1	3	Médio
1	4	Forte
10	5	Muito forte

Fonte: AFNOR.

- Júri: segundo LE CLOIREC *et al.*, (1991) citado por TRUPPEL (2002), para se fazer parte de um júri, as pessoas devem ser treinadas com o objetivo de classificar corretamente a ordem de intensidade das soluções de 1-butanol ou de piridina. Os membros do júri devem ter entre 16 e 50 anos, e apresentar uma sensibilidade olfativa normal.

A norma francesa AFNOR X 43 101 recomenda utilizar: 16 pessoas para se obter um valor representativo do valor limite de percepção; 8 pessoas na maioria das análises e 4 pessoas para as medidas comparativas.

3.5.2. Amostragem dos compostos odorantes

Segundo BELLI *et al.*, (1998), a técnica de amostragem depende de vários fatores:

- Da integridade do gás ou dos vapores coletados;
- Da adequação dos procedimentos de amostragem em relação com a técnica de análise;
- Da estabilidade dos gases ou dos vapores que devem ser armazenados sem perda pelas paredes do sistema de coleta;
- Controle contra contaminação.

A escolha do método adequado é primordial para análise dos compostos e depende principalmente das características das amostras a serem analisadas. Quando a concentração odorante for muito baixa, inferior aos limites de detecção pelos métodos analíticos, é necessário a realização da amostragem com concentração. É neste tipo de

amostragem que os gases em questão se enquadram. No caso de análises direta do gás – olfatometria – a técnica de amostragem ocorre sem concentração.

3.5.2.1. Amostragem com concentração

Neste trabalho, a amostragem será realizada por absorção.

- **A amostragem por absorção**

Consiste na fixação para selecionar os compostos ou suas famílias de compostos, dosada sob a forma de uma solução específica ou um precipitado para posterior análise. Para obter-se a determinação da concentração do composto é necessário um volume mínimo de gás passando pela solução absorvente. (CARMO, 2005). As soluções absorventes são escolhidas em função da natureza do composto capturado. Neste caso para a amônia a solução absorvente é o ácido clorídrico e para o sulfeto a solução é o cloreto de mercúrio.

3.5.2.2. Amostragem sem concentração

Este tipo de método de amostragem é utilizado nas análises olfatométricas. Para a realização deste tipo de amostragem são utilizadas sacolas plásticas de teflon ou tedlar, frascos de vidro e containeres metálicos (LE CLOIREC *et al.*, 1991, citado por TRUPPEL, 2002). Neste tipo de amostragem, o saco de amostragem é preenchido devido a menor pressão pelo bombeamento da amostra de ar para dentro do saco.

- **Sacolas Plásticas:** segundo o mesmo autor, as sacolas são em grande número confeccionadas de materiais não absorventes, como tedlar e teflon. O método de amostragem de gás é realizado com auxílio de uma bomba à vácuo a qual é conectada na válvula fixa da sacola. Desta maneira a bomba coleta o gás externo e abastece a sacola.

3.6. Legislação

A legislação no que diz respeito aos odores é específica, mas em razão da subjetividade da avaliação dos seus odores, fica difícil se colocar em prática.

3.6.1. Legislação Mundial

Com o crescimento global de regulamentação ambiental na década de 70, os países europeus, Austrália e os Estados Unidos começaram a desenvolver regulamentação para o odor. Essas regulamentações criaram a necessidade de padronização dos métodos de medidas. Alguns exemplos desses padrões incluem: US – ASTM D-1391 (1978) e ASTM E679-91 (1991), Alemanha – VDI 3881 (1980), França – AFNOR – X- 43-101 (1986), Países Baixos – NVN2820 (1996).

Recentemente, na década de 90, o comitê europeu de normalização (CEN) formou uma comissão técnica (TC264) que desenvolveu um teste padrão para o odor, o qual foi liberado no final de 2001, intitulado EN 13725: “Qualidade do ar - Determinação da concentração do odor pela dinâmica olfatométrica”. Este padrão unificaria uma norma olfatométrica em 18 países (Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Grécia, Alemanha, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Noruega, Portugal, Espanha, Suíça e Estados Unidos), seguindo o controle de qualidade ISO e testando protocolos científicos. Austrália e Nova Zelândia combinaram escrever uma nova norma essencialmente idêntica ao padrão europeu (MCGINLEY M. e MCGINLEY C. 2002, citado por CARMO, Jr., 2005). A votação para a liberação do padrão EN 13725 iniciou em 2001 e terminou em 2002 e o teste padrão EN 13725 foi aceito.

Na Alemanha, segundo STUELZ e FRECHEN (2001), citado por CABRAL (2003), a legislação de proteção ambiental é comparativamente velha, surgiu após a 2ª Guerra Mundial, porém, a distância mínima e os padrões de qualidade MES (Maximum emission standards) e MIS (Maximum impact standards) alguns tem força de lei, outros apenas orientam o licenciamento, mas o equipamento avaliado, tem que atender os padrões de qualidade para obtenção da licença. As leis apenas sugerem como resolver o problema. A Alemanha limita a percentagem de tempo de exposição, frequência relativa de 10% (relativo à frequência de horas ao ano com horas de odor consideradas ser um incômodo significativo) para áreas residenciais. Para áreas industriais, a porcentagem é de 15%. Em 62 ‘horas de odor’ é qualquer hora em que houver uma percepção significativa correlacionando com atividades industriais ou comerciais de odor por um período de 1 minuto (Padrão Federal, GIRL). Se durante o período de 10 minutos ocorrer percepção durante 10% (1 minuto) registra-se 1 hora.

Na França, somente as medidas olfatométricas na fonte, com vazão de odor, fazem uso das normas NF X 43-101 e NF X- 104 (TEETAERT, 1999, citado por SCHIMER, 2004).

Na Suíça, o impacto muito alto não é tolerado. Ele é considerado “muito alto” se uma porção relevante da população sentir-se significativamente incomodada. Para determinar o desconforto, é usado o método do questionário, que considera a reação do público, numa escala que varia de zero a dez. A reação é considerada como o melhor termômetro para avaliar o desconforto.

3.6.2. Legislação Brasileira

A Legislação Federal Brasileira, mediante da Resolução CONAMA 03/90, estabelece padrões de qualidade do ar para os poluentes convencionais, tais como: partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, todavia, não estabelece padrões de emissão ou limites de emissão de compostos odoríferos pelas fontes de emissões ou para incidência de odores na comunidade ao entorno destas fontes. Entretanto, a Política Nacional do Meio Ambiente considera como poluição todas as atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem o bem estar da população. Desta forma, quando se necessita de padrões para mensurar o odor, deve-se buscar um entendimento entre as partes interessadas ou valer-se de legislações praticadas fora do Brasil (BICHARA, 1999, citado por CARMO Jr., 2005).

Alguns estados brasileiros têm desenvolvido sua própria legislação para o controle da poluição ambiental, contudo, os limites federais devem ser respeitados.

O estado de São Paulo, por exemplo, tem a legislação mais restrita para a emissão de poluentes. É o estado mais industrializado e populoso. Além disso, possui o mais avançado conhecimento no controle de poluição atmosférica, junto com a grande consciência pública para este tipo de problema (DE MELO LISBOA *et al.*, 1995, citado por CARMO Jr., 2005). Através do Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, no capítulo II, seção I, artigo 29, estabelece como padrão de qualidade do ar para oxidantes fotoquímicos a concentração de 160 µg/m³ (ou valor inferior como concentração da máxima média de 1 hora), não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano. Pela seção II, artigo 33 do mesmo capítulo fica proibido a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora. A critério da CETESB, a

constatação deste tipo de emissão deve ser efetuada por técnicos da CETESB e obedecer aos seguintes Limites de Percepção de Odor. (Tabela 3):

Tabela 3 - Limites de percepção de odor dos compostos em ppm.

Composto	Concentração
Acetaldeído	0,21
Acetona	100,00
Ácido Acético	1,00
Ácido Butírico	0,001
Acrilato de Etila	0,00047
Acroleína	0,21
Acrilonitrila	21,40
Amônia	46,8
Anilina	1,00
Benzeno	4,68
Bromo	0,047
Cloreto de Alila	0,47
Cloreto de Benzila	0,047
Cloreto de Metila	10,00
Cloreto de metileno	214,00
Cloro	0,314
Dicloreto de enxofre	0,001
Dimetil amina	0,047
Dimetilsulfeto	0,001
Dissulfeto de carbono	0,21
Estireno	0,01
Etanol (sintético)	10,00
Eter Difenílico	0,10

Etil mercaptana	0,001
Fenol	0,047
Formadeído	1,00
Fosfina	0,021
Metanol	100,00
Metil Etil Cetona	10,00
Metil mercaptana	0,0021
Metanol 100,00	10,00
Monoclorebenzeno	0,21
Nitrobenzeno	0,0047
Paracresol	0,001
Para-xileno	0,47
Piridina	0,021
Sulfeto de hidrogênio	0,00047
Tolueno Diisocianato	2,14
Tolueno (do coque)	4,68
Tolueno (do petróleo)	2,14
Tricloroacetaldeído	0,047
Tricloroetileno	21,4

Fonte: CETESB (2003)

No estado de Santa Catarina, o Decreto nº 14.250, de 05 de junho de 1981, regulamenta dispositivos da Lei 5.793, de 15/10/80, referente à proteção e à melhoria da qualidade ambiental, proíbe a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora e apresenta uma tabela com 55 substâncias e seus respectivos LPO, sendo que os limites estabelecidos são os mesmos praticados pela CETESB. Nos casos para os quais não foram estabelecidos padrões de emissão, deverão ser adotados sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível.

O Estado de Goiás, o regulamento da lei nº 8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente, no capítulo II da seção III, proíbe a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora. Também apresenta uma tabela com 55 substâncias e seus respectivos limites de percepção olfativa (LPO) (CARMO Jr, 2004).

O Estado do Paraná apresenta a Resolução nº 041/02 – SEMA do Capítulo I, Artigo 11, onde as atividades geradoras de substâncias odoríferas, com uma taxa de emissão acima de 5.000.000 UO.h⁻¹ (unidades de odor por hora), deverão promover a instalação de equipamento previamente analisado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), visando a captação e remoção do odor. O tipo de equipamento de remoção de odor a ser instalado dependerá das condições locais de dispersão, da proximidade de áreas habitadas e da quantidade de substâncias odoríferas emitidas, a qual deverá ser quantificada por olfatometria e expressa em Unidades de Odor lançadas na atmosfera por hora. A eficiência do equipamento de remoção de odor, determinada por olfatometria (Norma VDI 3881: Olfactometry, Odour Threshold Determination, Part 1-4), deve ser no mínimo de 85% (CARMO Jr, 2004).

Abaixo pode-se verificar uma comparação entre algumas normas e limites estabelecidos no Brasil e nos EUA. Da tabela 5, percebe-se que no Brasil é os limites são inferiores ao praticados nos EUA, que diz respeito a limite de tolerância.

Tabela 4 – Tabela de Limites de Tolerância segundo a NR 15.

Agentes Químicos	LT – Até 48 horas/semana	
	ppm	mg/m ³
Amônia	20	14
Gás sulfídrico	8	12

Fonte: Adaptado do quadro I do anexo 11 da NR 15.

Tabela 5 – Limite de Tolerância: Brasil x EUA

	Brasil		EUA	
	NH₃	H₂S	NH₃	H₂S
LT – Valor médio	20 ppm	8 ppm	25 ppm	10 ppm
LT – Valor teto	30 ppm	16 ppm	35 ppm	15 ppm

Fonte: Adaptado da Ficha de Informação de Produto Químico da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, além de toda revisão bibliográfica acerca do tema abordado, foi utilizado um piloto experimental para a simulação do processo e também análises e procedimentos laboratoriais que estão descritos abaixo.

4.1. Análises Físico-químicas dos líquidos lixiviados

As amostras analisadas foram extraídas de dois aterros sanitários diferentes: um localizado no município de Biguaçu e o outro em Laguna, ambos pertencentes ao estado de Santa Catarina. Foram realizadas quatro coletas, sendo que cada vez era extraído 20 litros de amostra.

A primeira e a segunda amostras foram coletadas no dia 11 de outubro e 24 de outubro de 2007, respectivamente, no reservatório de lixiviado do LEEA, onde outras pesquisas com lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu-SC vem sendo desenvolvidas. A terceira coleta foi realizada no aterro sanitário de Laguna-SC no dia 7 de novembro de 2007. E a quarta coleta foi realizada novamente com lixiviado do aterro sanitário do município de Biguaçu, no dia 26 de novembro de 2007.

Segue algumas fotos que ilustram o processo da coleta.



Figura 3 – Primeira coleta da amostra.



Figura 4 – Segunda coleta do lixivado.

Abaixo estão todos os parâmetros que serão analisados a título de caracterização da amostra e suas respectivas metodologias.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica.

A demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada pelo Método Colorimétrico – Método 5220 baseado no Standard Methods descrito pela AWWA (APHA,1998). Uma amostra é aquecida em frasco fechado em meio fortemente ácido com uma quantidade em excesso, conhecida de dicromato de potássio. Depois da digestão, o dicromato que foi consumido é medido contra padrões a 600 nm (nanômetros), usando um espectrofotômetro UV e o resultado é expresso em DQO como mg O₂/L.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)**

A análise de DBO foi feita de acordo com o Método 5210 B. do *Standard Methods*, 1985. Esta análise tem por finalidade medir as concentrações de oxigênio dissolvidos em um período de tempo usualmente de 5 dias, onde a amostra fica selada e

mantida a temperatura constante, normalmente 20°C. O resultado da DBO_5 é expresso em mg/litro.

- **pH e Temperatura**

O potencial hidrogeniônico (pH) das amostras foi realizado com a utilização de um pHmetro Orion 210A. E a leitura da temperatura foi feita através de um termômetro acoplado ao condutivímetro utilizado.

- **Sólidos Totais**

A carga de sólidos representa o conjunto de substâncias de natureza orgânica e inorgânica dissolvidas (resíduos fixos, portanto, menos os gases dissolvidos) e em suspensão. A classificação dos sólidos pode ser física (sólidos dissolvidos ou em suspensão) ou química (voláteis e fixos).

A medida foi realizada de acordo com a Norma L5-149 da CETESB, foi utilizado o método A, para resíduo total. O procedimento se inicia com o preparo da cápsula (cadinho de porcelana), deve-se deixar a cápsula limpa na mufla a 550°C por uma hora, esfriar no dessecador, pesar com precisão de 0,1 mg e deixar no dessecador até o momento do uso.

Após isto, uma porção homogênea de amostra de volume adequado foi transferida quantitativamente para uma cápsula de evaporação, a evaporação é feita em banho-maria ou em chapa, e seca na estufa.

O aumento do peso em relação ao peso da cápsula vazia corresponde ao resíduo total. A determinação do resíduo fixo é feita após a determinação do resíduo total, este foi submetido à ignição a 550°C por uma hora na mufla, o material restante representa o resíduo fixo. A determinação do resíduo volátil se dá pela diferença entre o resíduo total e o resíduo fixo.

- **Nitrogênio orgânico, amoniacal e NTK**

A soma do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal é definida como NTK

Utilizou-se o método Kjeldhal (Macro-Kjeldhal) para determinação do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal presente no efluente.

O procedimento empregado foi o descrito em APHA (4500-NH₃, Método Titulométrico, 1995).

- **Alcalinidade**

Alcalinidade é definida como sendo a capacidade de uma solução em neutralizar ácidos. O método utilizado foi o titulométrico APHA (2320 B, 1995). Este método consiste na titulação potenciométrica da amostra com o emprego de uma solução padrão de ácido (H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹), até pH 4,5. O resultado foi expresso em miligramas de CaCO₃ por litro.

- **Condutividade**

A condutividade de uma solução aquosa, a uma determinada temperatura, é a medida da sua habilidade em transmitir corrente elétrica. Os fatores que afetam a condutividade são a presença dos cátions e ânions e suas concentrações absolutas e relativas, a valência dos íons, a temperatura da solução durante a medida. A condutividade é determinada fisicamente através da medida da resistência específica de uma célula eletrolítica conectada a um circuito externo, através de uma ponte de Wheastone, alimentada por uma corrente alternada de baixa voltagem e perfeitamente simétrica (LAURENTI, 1997).

A medida da condutividade foi feita de forma direta, colocando-se o eletrodo em contato com a amostra. O condutímetro utilizado foi da Marca Orion.

4.2. Evaporação do lixiviado

Esta etapa compreende a execução de um piloto experimental para simulação da evaporação do percolado em aterro sanitário. O líquido percolado coletado foi submetido à evaporação forçada através de um experimento de bancada ilustrado na figura 5.



Figura 5 - Foto ilustrativa do piloto experimental.

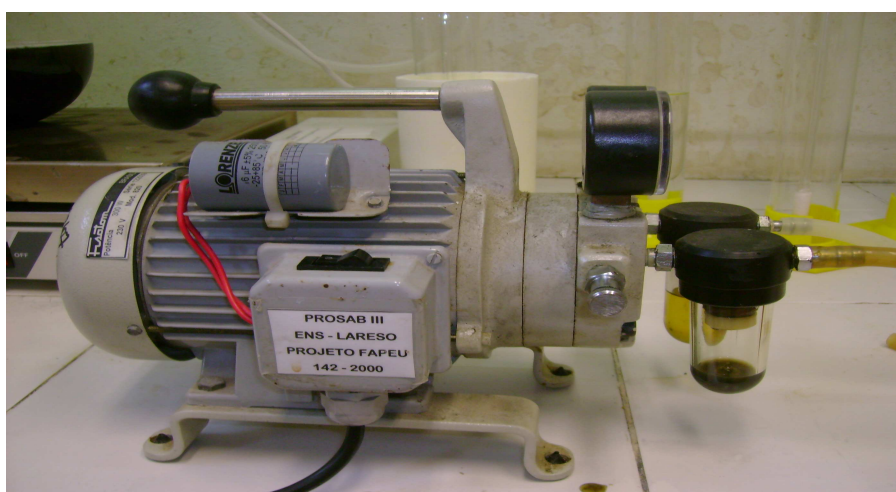


Figura 6 – Modelo de bomba utilizada.



Figura 7 – Medidor de fluxo utilizado no processo.

O piloto experimental é composto de um balão volumétrico com 3 aberturas. Uma abertura foi utilizada para a colocação de um termômetro, a outra serviu como alimentadora de amostra no sistema (caso houvesse a necessidade de acrescentar mais amostra durante o ensaio) e na abertura tradicional superior do balão volumétrico, foram acopladas mangueiras de silicone que seguiram posteriormente para cada um dos frascos lavadores de gás conectados em série. No segundo frasco foi colocado 250 ml de solução absorvente de HCl e no quarto frasco 250 ml de solução absorvente de HgCl_2 . O primeiro, o terceiro e o quinto frascos são amostras brancas. Os chamados “frascos brancos” têm a função de evitar algum possível refluxo do sistema, evitando consequentemente contaminação das amostras. No final do sistema, conectou-se uma bomba a vácuo (ver figura 5), para acelerar o processo de borbulhamento das soluções. O balão volumétrico foi colocado sobre uma chapa elétrica aquecedora, que fornece também a leitura do termômetro que está em contato com a amostra. Ao iniciar cada ensaio, a chapa aquecedora foi programada para atingir a temperatura de 100°C. Quando a chapa então registrasse essa temperatura a bomba era acionada e iniciava-se o processo de borbulhamento dos gases liberados pela amostra. Então, marcava-se duas horas de processo corrente, e ao final realizavam-se as análises conforme especificações dos tópicos, 4.3 e 4.4. A cada início e término do processo, era feita a leitura do fluxo de gás utilizando um medidor de fluxo, ilustrado mais abaixo na figura 6, cuja medida é dada em ml/min. Foi observado durante alguns testes com o piloto, a formação de gotículas d’água junto ao primeiro frasco. Como o objetivo do ensaio era medir somente os gases emitidos, foi colocado gelo ao redor do primeiro frasco para induzir a condensação deste vapor, concentrando ali todo o líquido evaporado.

Foram realizados 14 ensaios com o piloto experimental, de 15 de outubro a 27 de novembro. Os ensaios foram executados com a temperatura fixa de 100°C. Para o acompanhamento dos ensaios foi elaborada uma ficha para anotação das condições operacionais do ensaio e das concentrações odorantes obtidas, além das observações pertinentes. Esta ficha pode ser visualizada no anexo 1.

Este experimento tem como objetivo avaliar as emissões atmosféricas resultantes do aquecimento do lixiviado.

A etapa de identificação e quantificação das concentrações das emissões atmosféricas é de vital importância para projetar o sistema de controle de emissões atmosféricas em um evaporador em escala piloto e real, garantindo assim a segurança ambiental e operacional do sistema.

4.3. Determinação de H₂S

Esta etapa do trabalho consta de coleta e análise dos compostos de enxofre que são emitidos durante o processo. Para capturar os compostos de enxofre dos vapores emitidos pelo aquecimento do lixiviado, foi utilizada uma solução de HgCl₂ cuja concentração era de 4g/l, para precipitação dos compostos de enxofre e posterior análise pelo método gravimétrico. Para análise foi utilizado o *Gravimétrico*, a qual consiste na passagem do gás em solução de HgCl₂ até a produção de um precipitado (leitoso), posteriormente o sulfeto de mercúrio é filtrado com uma membrana de 0,45µm, esta membrana é previamente seca na estufa durante 14 a 16 horas e pesado em uma balança digital.

4.4. Determinação de NH₃

Para capturar os compostos de nitrogênio dos vapores emitidos pelo aquecimento do lixiviado, foi utilizada uma solução de HCl 0,1N e sua quantificação foi feita pelo método da destilação, seguida de titulação com H₂SO₄.

4.5. Cálculo para a determinação das concentrações de H₂S e NH₃

Concentração de H₂S:

Foi utilizada a metodologia de MARIS & LAPANCHE (1994), citado por CABRAL (2003), para os cálculos da concentração de H₂S, equação 1:

$$C = \frac{mx32}{326xV}$$

Sendo:

C: concentração de H₂S (mg/m³);

m: massa do precipitado obtida em gramas;

V: volume do gás que passou na solução de cloreto de mercúrio em m³;

32: massa molecular do enxofre em g/mol;

326: massa do precipitado sulfeto de mercúrio (HgS) por mol de cloreto de mercúrio.

- **Concentração de NH₃:**

$$\text{NH}_3 \text{ (mg/l)} = \frac{(a-b) \times 2800}{V}$$

Sendo:

a: volume gasto de H₂SO₄ na amostra;

b: volume gasto de H₂SO₄ no branco;

Normalidade H₂SO₄ 0,02N: 280 (constante fórmula) usada para concentrações baixas;

Normalidade H₂SO₄ 0,2N: 2800 (constante de fórmula) usada para concentrações altas.

➤ **Cálculo da massa de NH₃ na solução absorvente:**

$$m_{\text{NH}_3} \text{ (mg)} = C \text{ (mg/l)} \times V \text{ (l)}$$

Onde:

V (l) = volume de solução absorvente contido no frasco lavador, no caso 0,250l;

C (mg/l) = concentração encontrada na solução absorvente;

➤ **Cálculo da concentração de NH₃ no fluxo gasoso:**

$$C_{\text{NH}_3} \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{m_{\text{NH}_3} \text{ (mg)}}{V_{\text{gás}} \text{ (m}^3\text{)}}$$

Onde:

$V_{\text{gás}}$ = fluxo de gás passando no sistema, no caso 2l/min.

4.6. Análise Olfatométrica

Esta etapa do trabalho foi realizada na Unidade de Análise de Olfatometria, pertencente ao Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr).

O LCQAr está localizado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), inserido no Centro Tecnológico (CTC), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na cidade de Florianópolis.

O estudo olfatométrico dos gases coletados foi realizado seguindo as recomendações da norma francesa AFNOR. Foi utilizado o 1-butanol como composto de referência na determinação dos níveis diferentes da intensidade dos odores.

Os gases a serem avaliados, foram coletados com o auxílio de uma bomba diafragma. O gás coletado era armazenado em sacolas Tedlar com capacidade de 60l.

Para realizar a avaliação olfatométrica foi selecionado um júri composto de 6 pessoas selecionadas e treinadas antes de começar os trabalhos. A faixa etária do júri estava entre 18 e 27 anos.

A análise olfatométrica foi realizada com o uso do olfatômetro de diluição dinâmica da marca Odile, da Odotech versão 2000. Este tipo de olfatômetro permite misturar duas vazões, uma de gás odorante e outra de gás neutro com fatores de diluição em uma saída comum.

As análises ocorreram logo após as coletas, respeitando as recomendações de 48 horas como prazo máximo para realização dos testes. As amostras foram utilizadas diretamente, sem nenhuma pré-diluição. O que foi determinado no ensaio foi o limite de percepção da amostra individual, chamada aqui de concentração odorante em Unidades de Odor por metro cúbico.

As análises foram realizadas duas vezes, uma com a primeira amostra, no dia 25 de outubro de 2007 e outra com a terceira amostra, no dia 28 de novembro de 2007, sendo que a cada análise olfatométrica procedia-se a limpeza das sacolas Tedlar, passando ar comprimido até a eliminação total do odor dentro da sacola. Foi realizada também, com a primeira amostra, uma análise de gases com o aparelho da DRAGER.

Este aparelho, ilustrado na figura 10, faz a medição de O_2 , CH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2S . Primeiramente o gás é coletado dentro de uma sacola Tedlar. Então a sacola é acoplada ao aparelho através de uma pequena conexão ajustável, que faz a leitura dos gases (neste caso, somente foram considerados NH_3 e H_2S).

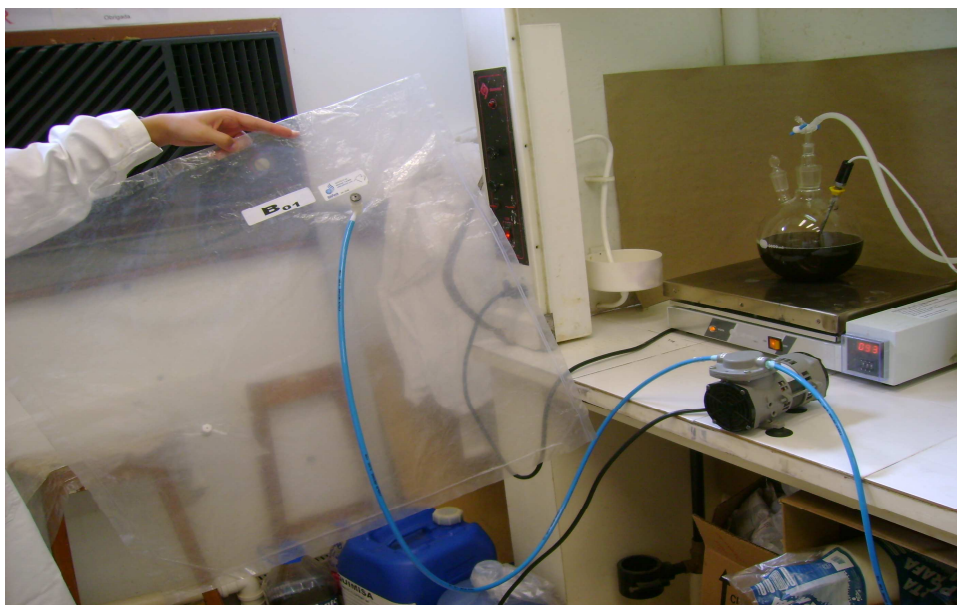


Figura 8 – Processo de coleta dos gases para análise olfatométrica.



Figura 9 – Membro do júri olfatométrico.



Figura 10 – Equipamento para medições direta de gases da DRAGER.

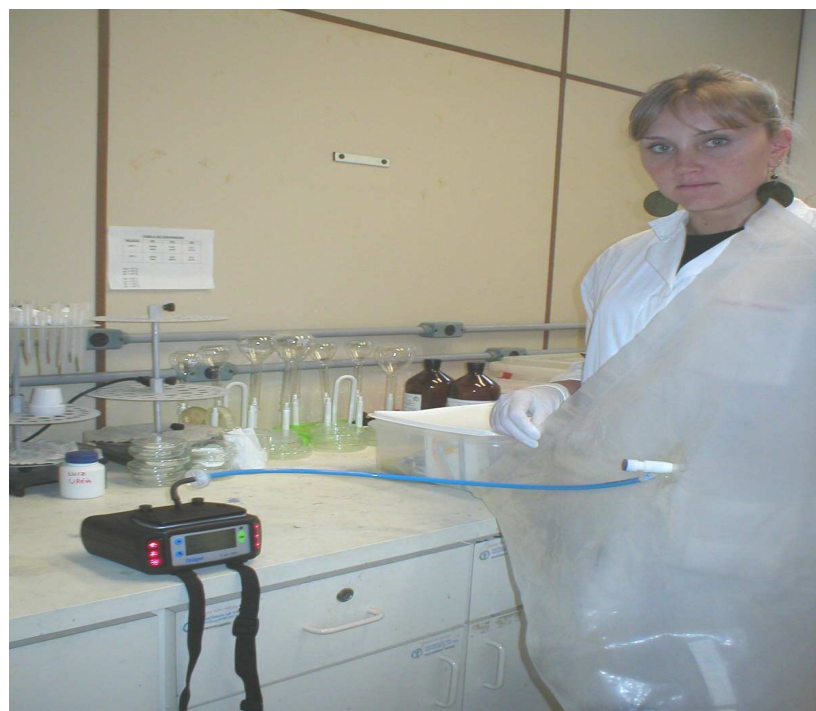


Figura 11 – Análises dos gases pelo aparelho da DRAGER.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise Química

Para cada amostra coletada foi feita uma caracterização físico-química. Na tabela abaixo estão os valores determinados para cada parâmetro medido.

Tabela 6 – Caracterização das amostras.

PARÂMETRO	1ª COLETA	2ª COLETA	3ª COLETA	4ª. COLETA
Data/ Aterro	11/10 - Biguaçu	24/10 - Biguaçu	07/11 - Laguna	26/11 - Biguaçu
DQO (mg/l)	2197,05	2684,33	3430	3540
DBO ₅ (mg/l)	280,00	800,00	1250	1140
pH	8,63	8,95	7,70	8,14
Temperatura (°C)	24,90	22,93	26,00	26,00
Sólidos Totais (mg/l)	7460,0	8268,0	830	790
Nitrogênio NTK (mg/l)	940,8	1579,2	986	1140
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	890,4	856,8	918	1008
Nitrogênio orgânico (mg/l)	50,4	722,4	68	132
Alcalinidade (mg/l de CaCO ₃)	23000	23000	-	-
Condutividade (mS)	13,95	16,70	18,96	16,05

As análises para determinação das concentrações de amônia resultaram nos dados apresentados na Tabela 7 mostrada abaixo:

Tabela 7 – Resultados encontrados para NH₃ e condições de ensaio. (T_{evaporação} = 100°C).

N. Coleta	Lixiviado	N. Ensaio	pH	Conc. mg.L ⁻¹	Massa (mg)	Vol. Fluxo	Conc. mg/m ³	Média mg/m ³	Des. Pad. mg/m ³
1a. Coleta	Biguaçú	1	8,63	470,40	117,60	0,24	490,00	490,00	0,00
	Biguaçú	2	4,00	8,40	2,10	0,24	8,75	8,75	0,00
	Biguaçú	3	8,63	95,20	23,80	0,24	99,17	99,17	0,00
	Biguaçú	4	4,00	56,00	14,00	0,24	58,33	39,38	26,81
				19,60	4,90	0,24	20,42		
2a. Coleta	Biguaçú	5	8,95	1636,32	409,08	0,24	1704,50	1727,25	32,17
				1680,00	420,00	0,24	1750,00		
	Biguaçú	6	8,95	1307,60	326,90	0,24	1362,08	1195,83	235,11
				988,40	247,10	0,24	1029,58		
	Biguaçú	7	8,95	1159,20	289,80	0,24	1207,50	1099,58	152,62
				952,00	238,00	0,24	991,67		
	Biguaçú	8	8,95	784,00	196,00	0,72	272,22	253,26	26,81
				674,80	168,70	0,72	234,31		
3a. Coleta	Laguna	9	7,70	2357,60	589,40	0,24	2455,83	2231,25	317,61
				1926,40	481,60	0,24	2006,67		
	Laguna	10	7,70	823,20	205,80	0,24	857,50	877,92	28,87
				862,40	215,60	0,24	898,33		
	Laguna	11	4,00	29,12	7,28	0,24	30,33	32,67	3,30
				33,60	8,40	0,24	35,00		
	Laguna	12	4,00	5,32	1,33	0,24	5,54	5,38	0,24
				5,00	1,25	0,24	5,21		
4a. Coleta	Biguaçú	13	4,00	3,08	0,77	0,24	3,21	2,77	0,62
				2,24	0,56	0,24	2,33		
	Biguaçú	14	4,00	9,52	2,38	0,24	9,92	10,21	0,41
				10,08	2,52	0,24	10,50		

Os ensaios que resultaram na tabela 7, foram realizados nas amostras com o pH do lixiviado bruto e com a amostra acidificada até pH 4, sendo utilizado para tanto, HCl 2N.

Na figura 12 e 14 podemos observar a influência do pH nos valores médios de NH₃ encontrados para as amostras do aterro de Biguaçú e Laguna, respectivamente, ou

seja, nas amostras que foram acidificadas, os valores encontrados são menores, que os ensaios normais (com pH básicos). O pico de NH_3 , 2231,25 mg/m^3 se deu com o ensaio 9 realizado cuja amostra era de Laguna. Este fato pode ser justificado em parte por se tratar de um aterro relativamente novo. O ensaio cuja duração foi de 6 horas apresentou uma concentração menor do que as obtidas nos ensaios de 2 horas de duração. Ou seja, com o decorrer do tempo a concentração passou a decair. Inicialmente a concentração aumentava com o tempo de ensaio, atingia seu pico e então começava a decair. Não se tem estudos realizados com relação ao tempo exato em que essas etapas acontecem.

Estudos do efeito resultante da exposição de amônia à saúde tem encontrado que, pessoas que inalam 34,76 mg/m^3 de amônia no ar por menos que 1 dia de exposição, percebe uma pequena irritação temporária. Já pessoas expostas a 347,65 mg/m^3 por 30 minutos relatam considerável irritação no nariz e garganta. A amônia pode ser fatal quando uma pessoa é exposta a 3476,48 mg/m^3 por menos que 30 minutos. Esta concentração é equivalente a uma atmosfera contendo 0,5% de amônia. Um estudo de exposição crônica de amônia encontrou que pessoas expostas à amônia a uma concentração de 69,53 mg/m^3 no ar por mais que 6 semanas experimentaram irritação no nariz, olhos e garganta. (ATSDR, 1990).

Portanto, concentrações de amônia no ar ambiente próximo de aterro sanitário devem ser esperadas bem abaixo dos níveis que efeitos adversos à saúde são esperados de ocorrer. E as amostras analisadas apresentam níveis preocupantes à saúde pública, pelas altas concentrações apresentadas.

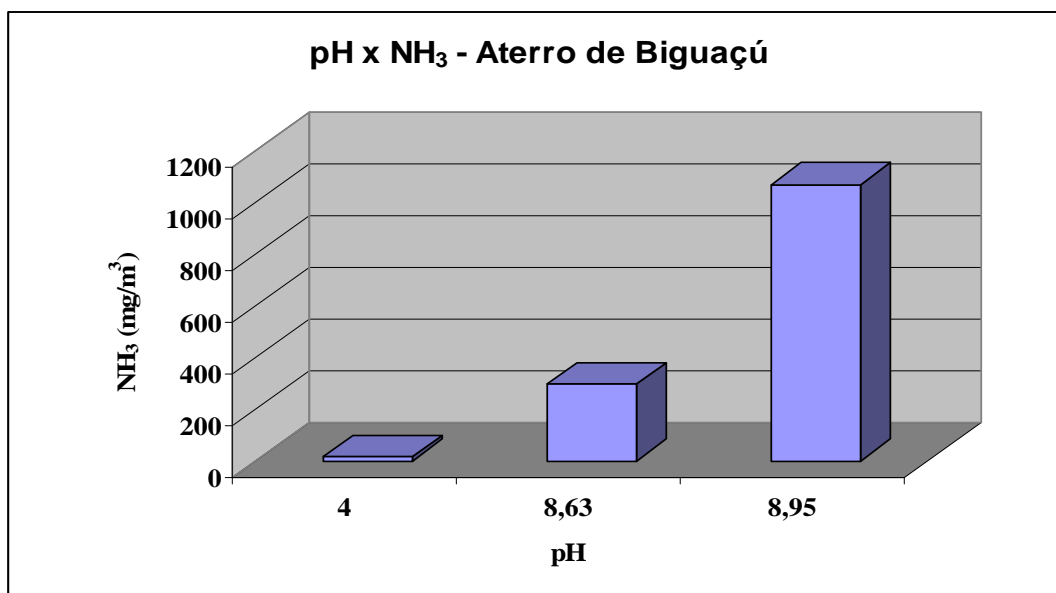


Figura 12 – Gráfico da influência do pH sobre a NH₃ para todas as amostras do aterro de Biguaçu.

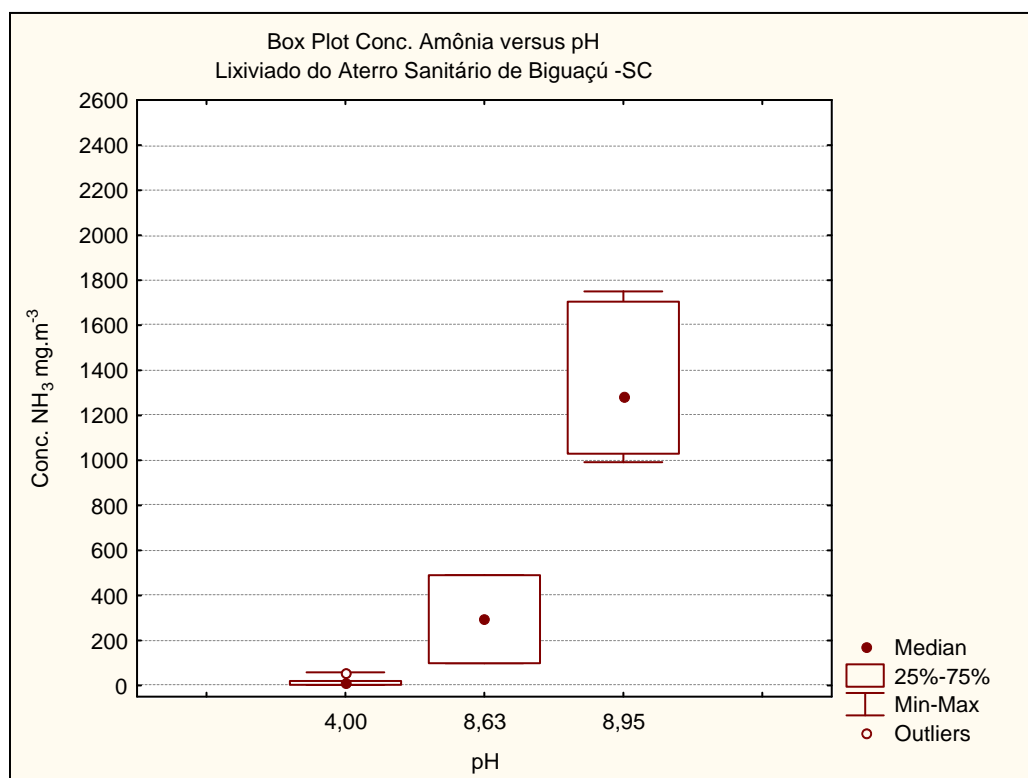


Figura 13 – Representação da influência do pH sobre a NH₃ para o aterro sanitário de Biguaçu através do software Statistic.

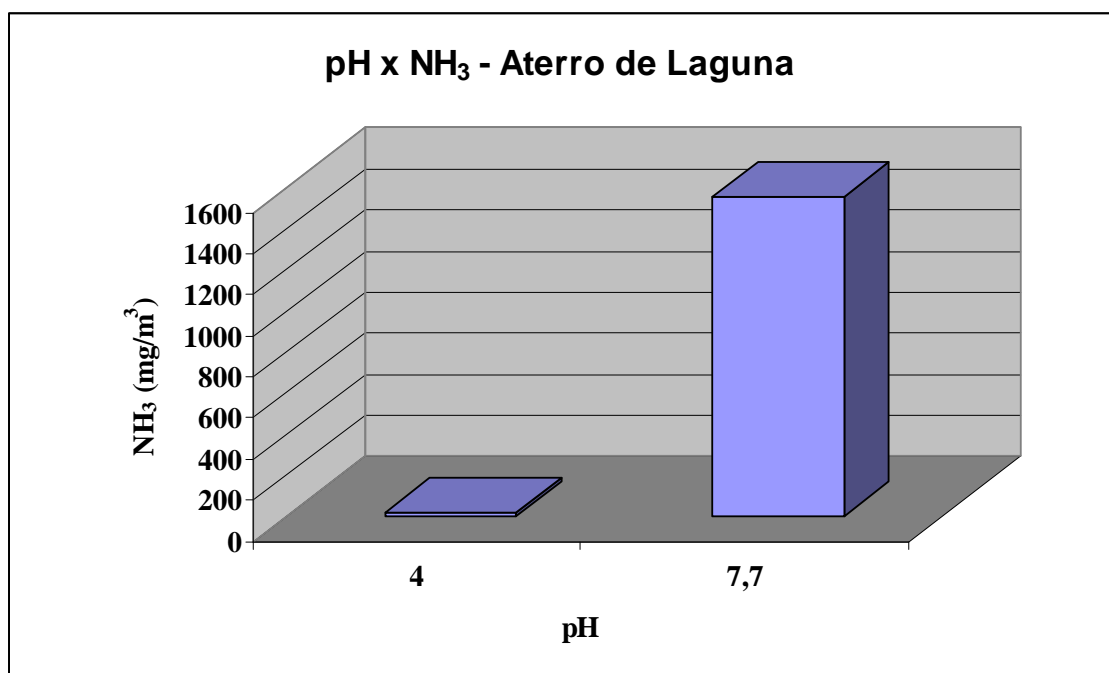


Figura 14 - Gráfico da influência do pH sobre a NH₃ para todas as amostras do aterro de Laguna.

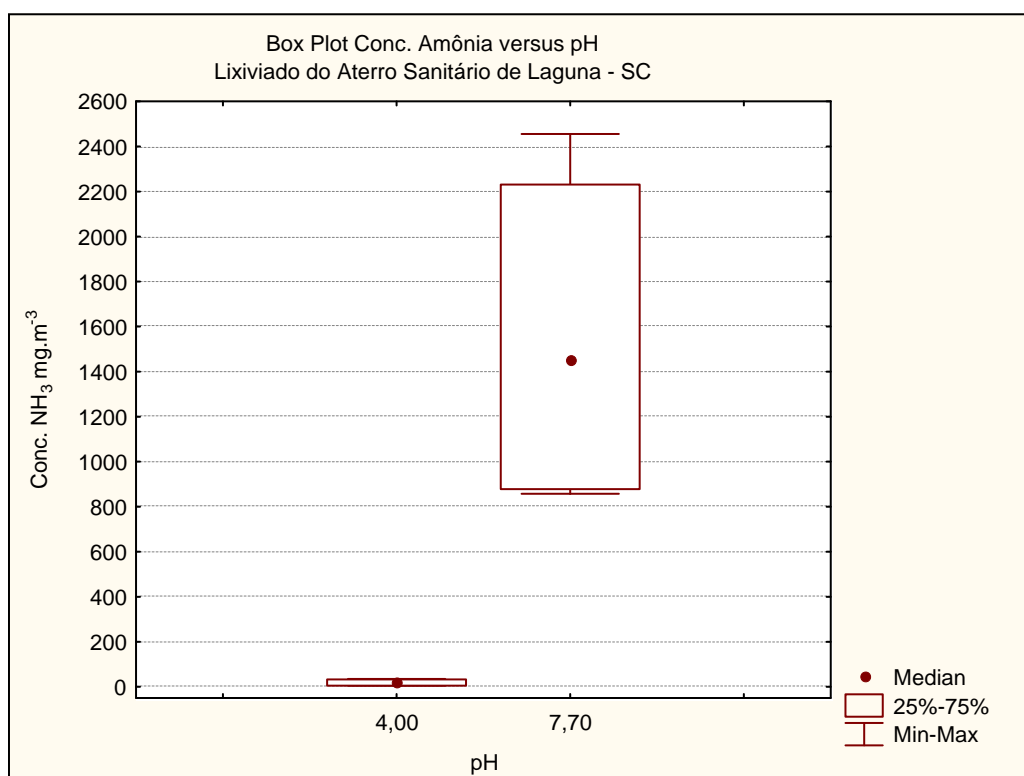


Figura 15 - Representação da influência do pH sobre a NH₃ para o aterro sanitário de Biguaçu, através do software Statistic.

Tabela 8 – Porcentagem de liberação de NH₃ em massa.

Amônia Lixiviado Bruto			Amônia Emitida Gases			Emissão	pH
Conc. (mg/l)	Volume (l)	Massa (mg)	Conc. (mg/l)	Volume (l)	Massa (mg)	%	
890,40	1,50	1335,60	470,40	0,25	117,60	8,81	8,63
890,40	1,50	1335,60	8,40	0,25	2,10	0,16	4,0
890,40	1,50	1335,60	95,20	0,25	23,80	1,78	8,63
890,40	1,50	1335,60	56,00	0,25	14,00	1,05	4,0
890,40	1,50	1335,60	19,60	0,25	4,90	0,37	8,95
856,80	1,50	1285,20	1636,32	0,25	409,08	31,83	8,95
856,80	1,50	1285,20	1680,00	0,25	420,00	32,68	8,95
856,80	1,50	1285,20	1307,60	0,25	326,90	25,44	8,95
856,80	1,50	1285,20	988,40	0,25	247,10	19,23	8,95
856,80	1,50	1285,20	1159,20	0,25	289,80	22,55	8,95
856,80	1,50	1285,20	952,00	0,25	238,00	18,52	8,95
856,80	1,50	1285,20	784,00	0,25	196,00	15,25	8,95
856,80	1,50	1285,20	674,80	0,25	168,70	13,13	8,95
918,00	1,50	1377,00	2357,60	0,25	589,40	42,80	7,7
918,00	1,50	1377,00	1926,40	0,25	481,60	34,97	7,7
918,00	1,50	1377,00	823,20	0,25	205,80	14,95	7,7
918,00	1,50	1377,00	862,40	0,25	215,60	15,66	7,7
918,00	1,50	1377,00	29,12	0,25	7,28	0,53	4,0
918,00	1,50	1377,00	33,60	0,25	8,40	0,61	4,0
918,00	1,50	1377,00	5,32	0,25	1,33	0,10	4,0
918,00	1,50	1377,00	5,00	0,25	1,25	0,09	4,0
1008,00	1,50	1512,00	3,08	0,25	0,77	0,05	4,0
1008,00	1,50	1512,00	2,24	0,25	0,56	0,04	4,0
1008,00	1,50	1512,00	9,52	0,25	2,38	0,16	4,0
1008,00	1,50	1512,00	10,08	0,25	2,52	0,17	4,0

Observa-se, segundo a tabela 8, que a emissão de amônia da fase líquida para a gasosa foi em torno de 1% em massa quando o ajuste de pH para 4,0 foi realizado. Em contrapartida, a emissão de amônia nos ensaios de evaporação realizados com pH normal (7,7 – 8,95) a emissão em massa variou entre 0,37 a 42,8%.

Um estudo realizado por OLIVEIRA et al., 2005, amostrou a atmosfera de um aterro sanitário nas proximidades de uma lagoa de chorume. A concentração de NH₃

naquela atmosfera ficou entre 42 e 73 mg/m³. Essas concentrações, segundo o estudo, foram classificadas como muito altas quando comparadas às diretrizes da Organização Mundial da Saúde, embora não pudessem causar efeito sobre a saúde. As concentrações de NH₃ encontradas naquela atmosfera ultrapassaram muitas vezes as recomendações das agências de proteção ambiental americana e européias, inclusive em comparação com limites para exposição ocupacional.

Desta maneira, é mais fácil visualizar o quão forte é a concentração de NH₃ encontrada nas amostras do aterro de Biguaçu e Laguna. Trata-se de amostras quase 31 vezes mais odorantes que aquelas do estudo de descrito acima.

Com relação ao H₂S, não pôde ser detectado a presença deste gás em nenhuma das amostras analisadas do aterro de Biguaçu. Decidiu-se coletar amostra de um outro aterro sanitário, no caso o de Laguna, para ver se era detectado alguma concentração de H₂S. O resultado não se alterou: a amostra não continha H₂S. Foi realizado com o mesmo intuito, análise em amostras acidificadas de ambos os aterros, e um ensaio mais prolongado, com duração de 6 horas. A última tentativa ficou por conta da leitura através do equipamento da DRAGER para medição direta de gases, que se encontra ilustrado na figura 10. Foram então submetidas à leitura através de um equipamento da DRAGER para medição direta de gases, que se encontra ilustrado na figura 10. Todos esses testes só levaram a confirmação da ausência de H₂S nas amostras analisadas.

5.2. Análise Olfatométrica

As concentrações determinadas como resultado das análises olfatométricas apresenta-se na tabela 9, segundo as diferentes normas. O relatório completo do ensaio, gerado pelo programa ao fim do ensaio, pode ser encontrado no anexo 2.

Tabela 9 – Resultados das análises olfatométricas.

CONCENTRAÇÃO ODORANTE (UO/m³)		
	Análise 1 (amostra 1 - Biguaçu)	Análise 2 (amostra 3 - Laguna)
ASTM E679-91	817	9807
PROBIT	810	12860
Pr EN13725	827	9807

5.2.1. Comparação entre os resultados

Entre as duas amostras analisadas, a terceira amostra (aterro de Laguna) apresentou uma sensação de mal estar maior que a primeira amostra. E este fato está comprovado no resultado da análise olfatométrica ilustrado na figura 16, onde a concentração odorante para a primeira amostra foi bem inferior. Esta diferença de concentração odorante pode ser justificada, em parte, em razão da idade dos aterros sanitários. No caso o aterro de Laguna (amostra 3) tem apenas 5 anos de operação, enquanto que o de Biguaçu possui 15 anos de operação. Tomando como referência o estudo de odores de suinocultura proposto por SANTOS (2004), que diz que 300 uO/m³ já pode ser considerado um odor forte, podemos comprovar como realmente as duas amostras analisadas são consideradas extremamente fortes, principalmente a segunda amostra, que apresenta concentração de até 12860 uO/m³, segundo PROBIT.

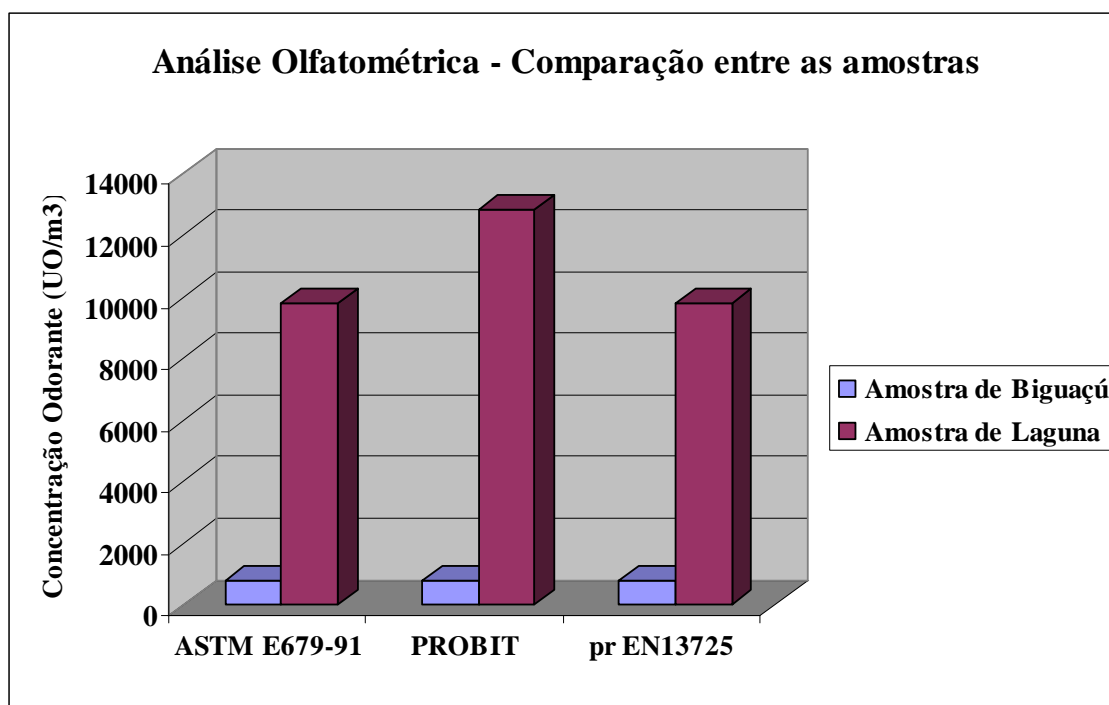


Figura 16 – Resultado da análise olfatométrica.

Zhang *et al* (2002), citado por CARMO pesquisaram a concentração odorante de dejetos de suínos no ar ambiente comparando com a escala de referência de butanol de 8 pontos. Segundo eles, odores com concentração na faixa de 974 a 3278,6 UO/m³ já eram considerados pelos jurados como muito fortes. BELLI (1995), estudando um sistema de desodorização para dejetos de suínos, encontrou que, para concentrações odorantes acima de 200 UO/m³, a intensidade do odor era média, já para concentrações na faixa de 940 UO/m³, a concentração era forte.

Analisando estes dois estudos citados acima, podemos observar que as amostras analisadas tratam-se de amostras odorantes fortes.

Para o gás sulfídrico e amônia tem-se os seguintes limites de tolerância e percepção olfativa. A tabela 10, apresentada abaixo foi adaptada alterando-se a unidade original ppm, para a atual, mg/m³, para que fosse possível fazer uma comparação direta dos valores encontrados para NH₃ e H₂S com os mostrados na tabela.

Para realizar esta transformação, foi utilizada a seguinte fórmula, extraída de ATSDR, 1999.

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{P (g/mol)}}{24,45}$$

Onde:

P é o peso molecular do gás, que para a NH_3 é de 17 g/mol e para o H_2S é 34 g/mol.

Tabela 10 – Limites de tolerância e percepção para o H_2S e NH_3 .

Composto	Limite de Tolerância (mg/m^3)	Limite de Percepção (mg/m^3)
H_2S	11,14	0,00065
NH_3	13,9	32,54

Fonte: Adaptada de LE CLOIREC, FANLO e DEGORGÉ-DUMAS (1991), citado por SCHIRMER, 2004.

Comparando-se as Tabelas 7 e 10, pode-se observar que somente duas amostras acidificadas não ultrapassaram o limite de tolerância de 13,9 mg/m^3 para o NH_3 . O limite de percepção recomendado pela CETESB de 32,54 mg/m^3 foi ultrapassado por duas amostras acidificadas e por todas as amostras com o pH característico do lixiviado.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa revelam que o processo de evaporação de lixiviado pode se constituir numa fonte de poluição atmosférica e de incômodos olfativos, caso o processo não seja devidamente operado. Expressivas concentrações de amônia foram emitidas nos ensaios realizados com pH em torno de 7,70 a 8,95, os quais oscilaram entre 99,17 mg/m³ a 2231,25 mg/m³.

As concentrações odorantes dos gases de evaporação do lixiviado foram consideradas de fortes à extremamente fortes, como foi o caso da concentração obtida para os gases do aterro sanitário de Laguna, cuja concentração atingiu 12860 uO/m³ segundo PROBIT.

O ajuste do pH do lixiviado para 4,0 resultou em uma redução significativa da emissão de amônia para concentrações inferiores a 40 mg/m³. O ajuste do pH para 4,0 também não favoreceu a emissão de sulfeto de hidrogênio, o qual não foi detectado em nenhum dos 14 ensaios realizados.

Portanto, faz-se necessário seu pleno controle no tratamento de lixiviado por evaporação, garantindo que os gases emitidos estejam dentro dos limites estabelecidos pela legislação zelando pela saúde da população.

RECOMENDAÇÕES

- Buscar métodos alternativos e mais sensíveis para a análise dos gases contendo H₂S;
- Identificar o custo de tratamento considerando um pré-tratamento com ajuste de pH para 4,0 com HCl e H₂SO₄;
- Aumentar o número de ensaios visando aumentar o número de dados e reduzir o desvio padrão;
- Pesquisar o comportamento da NH₃ no decorrer do tempo. O momento em que ela atinge seu valor máximo, e até que intervalo de tempo é vantajoso realizar a sua medição;
- Persistir no uso da metodologia olfatométrica e também na análise química para determinação da amônia.

CAPÍTULO VII

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR. 1990. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Landfill Gas Primer**. 1990. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services.
- BELLI FILHO; DE MELO LISBOA, H. **Avaliação de emissões odorantes**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Vol. 3, n.º 3, p. 101-106, 1998.
- BELLI, F. P., COSTA, R. H. R., CORREIA, C. M., CABRAL, S. A. F. **Controle e Tratamento de odores com biofiltração**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.
- CABRAL, S. A. F. **Biofiltração para desodorização de reatores anaeróbios**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.
- CARMO, J. N. R. G. **Otimização e avaliação de metodologias olfatométricas voltadas ao saneamento ambiental**. Dissertação de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.
- CARVALHO, M. C. **Odor e Biodesodorização em reatores anaeróbios. Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.
- CASTILHOS JÚNIOR, A. B. **Produção de biogás e líquidos percolados em aterros sanitários**. Revista Saneamento Ambiental, v.12, p.56-59, São Paulo, Fev/Mar, 1991.
- DUARTE, C. A. **Projetos de MDL em aterros sanitários no Brasil: alternativa para o desenvolvimento sustentável**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2006.
- FEPAM – **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS**. Legislação ambiental.
- FREIRE, S.R.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**. Química Nova. V.23, p. 504-511, 2000.

- LAURENTI, A., **Qualidade de Água I**. Florianópolis. Imprensa Universitária. UFSC – Florianópolis – SC, Maio de 1997.
- MARKS, L.A.; LUTHY, G.R.; DIWEKAR, M.U. **Semi-Continuous Evaporation Model for Leachate Treatment Process Evaluation**. Environmental Progress. Vol. 13, no. 4. 1994.
- MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico de leito expandido**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, 2002.
- METCALF, L. E EDDY, H.P. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3rd ed. New York, McGraw Hill. 1991. 1334p.
- MONTEIRO, V. E. D., JUCÁ, J. F. T., RÊGO, C. C. **Influência das Condições Climáticas no Comportamento do Aterro de Resíduos Sólidos de Muribeca**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... João Pessoa – Paraíba, 2000.
- MORAIS, L. J. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. Dissertação de Doutorado. Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. 2005.
- OLIVEIRA S. A., ALVES M. E., CAMPOS P. V., TAVARES M. T. **Emissões fugitivas de compostos inorgânicos odoríferos (H₂S e NH₃) de uma lagoa de armazenamento de chorume em aterro sanitário**. Universidade Federal da Bahia. Dpto. Química Analítica - LAQUAM. 28ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2005.
- REICHERT, G. A. **Aterro sanitário: projeto, implantação e operação**. Porto Alegre: ABES, 2000.
- RUSSO, M. A. T., VIEIRA, J. M. P., **Estudos Sobre Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Bahia, Abril de 2000.
- SANTOS, L. C. **Emissão de Odores numa microbacia hidrográfica com alta concentração de suínos**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- SCHIRMER, N. V. **Amostragem, análise e proposta de tratamento e odorantes na estação de tratamento de efluentes de uma refinaria de petróleo**. Dissertação

de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

SILVA, G. P. Avaliação de incômodos olfativos emitidos pela suinocultura - Estudos na Bacia Hidrográfica do Rio dos Fragosos e na região urbana do Município de Concórdia. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina 2002.

TRUPPEL, A. Redução de Odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

AFNOR - APHAASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION.

8. ANEXOS

Anexo 1 - Ficha de Acompanhamento Operacional de laboratório.

Análise de Compostos Odorantes em Sistema de Evaporação de Lixiviado					
Ensaio n°	1			Data:	15/10/2007
Condições Operacionais de Ensaio					
Temp. Evap.:	80°C			pH Lixiviado:	8,5
Volume Inicial:	1,5 litros	Volume Final:	0,50 litros	Volume Evaporado:	1 litro
Tempo para atingir a Temperatura:	1 hora			Tempo de Ensaio:	2 horas
Fluxo Inicial:	2 l/min			Fluxo Final:	2 l/min
Observações: Presença de Condensado no 1° Frasco de Dreschel volume 10 ml					
Volume de Solução Absorvente NH ₃ : Ácido Clorídrico 0,1 N				250 ml	
Volume de Solução Absorvente H ₂ S: Cloreto de Mercúrio				250 ml	
Determinação da Concentração de Compostos Odorantes					
Concentração de Amônia					
Amostra (ml)	A (ml)	B (ml)	Cte Formula		Resultado (mg/l)
100	5,1	0,5	2800		515,2
$\text{NH}_3 \text{ (mg/l)} = (a - b) * 2800 / V$ <p>A: volume gasto de H₂SO₄ na amostra B: volume gasto de H₂SO₄ no branco Normalidade H₂SO₄ 0,02N: 280 (cte fórmula)>> Concentrações baixas Normalidade H₂SO₄ 0,2N: 2800 (cte fórmula)>> Concentrações altas</p>					
Concentração de Sulfeto de Hidrogênio					
m (gramas)	V (L ou m ³)	S (gramas)	HgS (gamas)	Fator Diluição	Resultado (mg/m ³)

2,5	240	32	326		0,001022495
$\text{H}_2\text{S (mg/l ou mg/m}^3\text{)} = (\text{m} \cdot 32) / (326 \cdot \text{V})$					
Q (L/H)	Tempo (horas)	Volume (m³)			
120	2	240			
$\text{Volume (m}^3\text{)} = \text{Q} \cdot \text{T}$					
S (gramas):	massa molecular do enxofre				
HgS (gramas):	massa do precipitado de sulfeto de mercúrio (HgS) por mol de cloreto de mercúrio (HgCl₂)				

Anexo 2 – Resultado dos ensaios olfatométricos.